BIBLJOTEKA
„MATHESIS POLSKIEJ"
CZASOPISMA MATEMATYCZNO-FIZYCZNEGO

# DZIEJE ROZWOJU FIZYKI

W ZARYSACH

OPRACOWALI

Dr M. GROTOWSKI, M. SADZEWICZOWA,
Dr W. WERNER i Dr S. ZIEMECKI

Wydanie drugie, całkowicie przerobione

TOM II

ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM
OPTYKA
BUDOWA MATERJI

Z 214 rysunkami w tekście i na 10 tabl. oraz 14 portretami

WARSZAWA — 1931
NAKŁADEM REDAKCJI „MATHESIS POLSKIEJ"
SKŁAD GŁÓWNY W KSIĄŻNICY - ATLAS T. N. S. W.

# MATHESIS POLSKA

CZASOPISMO POŚWIĘCONE NAUKOM ŚCISŁYM I ICH METODOLOGJI

WYDAWANE PRZEZ
STANISŁAWA WARHAFTMANA
PRZY WSPÓŁUDZIALE
E. STENZA i K. ZARANKIEWICZA

Tom I (1926)

Dr. L. INFELD. O wpływie nowych teoryj fizyki na nauczanie w szkole średniej. — Dr. M. KOERNER. Z dziedziny zastosowań rachunku warjacyjnego. — J. MERGENTALER. O budowie korony słonecznej.— Prof. Dr. W. SIERPIŃSKI. O pewnem twierdzeniu z teorji odwzorowań. — Dr. S. STECKEL. Uwagi dotyczące pewnego algorytmu nieskończonego — Dr. S. STENZ. O badaniach promieniowania słonecznego na Oceanie Atlantyckim. — Dr. S. SZCZENIOWSKI. Nowe poglądy na teorje budowy atomu. — W. ŚLEBODZIŃSKI. O metryce przestrzeni w otoczeniu nieruchomego punktu materjalnego. — ST. WARHAFTMAN. Zastosowanie teorji równań całkowych w fizyce teoretycznej. — Doc. Dr. A. ZYGMUND. O teorji średnich arytmetycznych.

NOTATKI — KRONIKA — BIBLJOGRAFJA — ZADANIA

*Str. VIII, 156 z rys. w tekście i na tablicach. Cena zł. 20.—*
*(Tylko dla nabywców serji tomów I—V)*

Tom II (1927)

Dr. M. AUERBACH. Z dziejów matematyki greckiej u szczytu jej rozwoju. — Dr. F. BURDECKI. Wszechświat na tle teorji względności. — Prof. Dr. J. RUDNICKI. O pewnej własności arytmetycznej ciągu iteracji potęgowania. — Dr. S. STECKEL. O pojęciu granicy w szkole średniej. — Dr. E. STENZ. Uwagi w sprawie ćwiczeń praktycznych z fizyki. — Polska wyprawa astronomiczną do Laponji. — ST. WARHAFTMAN. Wielkie planetarjum Zeissa.—Przyczynowość w świecie kwantowym. Rozwój pojęć fizyki atomu. — A. WERYHA. Badanie budowy ciał stałych zapomocą promieni Röntgena. — Prof. Dr. ST. ZIEMECKI. Dydaktyka fizyki.

NOTATKI — KRONIKA — BIBLJOGRAFJA — ZADANIA — KURJOZA

*Str. VIII, 136 z rys. w tekście. Cena zł. 20.—*
*(Tylko dla nabywców serji tomów I—V)*

Tom III (1928)

Dr. F. BURDECKI. Aberacja w świetle mechaniki klasycznej i relatywistycznej. — A. DMOCHOWSKI. Organizacja pracowni fizycznych w szkołach powszechnych i niższych klasach szkół średnich. — Prof. Dr. K. JANTZEN. Uwagi o rachunkach numerycznych.— Dr. S. STECKEL. O koniecznym i dostatecznym warunku zbieżności nieskończonego wyrażenia pierwiastkowego. — Dr. E. STENZ. Józef Wierusz-Kowalski. — Dr. S. SZCZENIOWSKI. IV Zjazd Fizyków Polskich. — ST. WARHAFTMAN. Równania różniczkowe w fizyce teoretycznej. — Svante Arrhenius. — Hendrik Antoon Lorentz. — Prof. Dr. ST. ZIEMECKI. Zagadnienia fizyki współczesnej w szkole średniej.

NOTATKI — KRONIKA — BIBLJOGRAFJA — ZADANIA — KURJOZA

*Str. VIII, 188 z rys. w tekście i 3 portretami. Cena Zł. 20.—*

Tom IV (1929)

Prof. Dr. M. CENTNERSZWER. Zasadnicze zagadnienia chemji fizycznej.—J. GIĄGLIŃSKI. Fizyczna zasada względności. I. Wielkie naukowe syntezy geometryczne. II. Synteza geometryczna geometrji nieeuklidesowych. — Dr S. GLASS. Dowód pewnych równości — Dr. A. KORNIAKT. Z mechaniki układów zachowawczych. — Edw. POZNAŃSKI. Zasada przyczynowości i mechanika falowa. — Dr. S. STECKEL. O funkcjach ciągłych nieróżniczkowalnych. —Doc. Dr. W. WERNER. Wiktor Biernacki.— A. WUNDHEILER. O pojęciu reakcji więzów w elementarnem nauczaniu fizyki. — Doc. Dr. K. ZARANKIEWICZ. O teorji mnogości i topologji. — Prof. Dr. ST. ZIEMECKI. O zjawisku Ramana w związku z rozpraszaniem światła. — Doc. Dr. A. ZYGMUND. Uwaga o funkcjach ciągłych nieróżniczkowalnych

NOTATKI — KRONIKA — BIBLJOGRAFJA — ZADANIA — KURJOZA

*Str. 168 z 1 portr. i rys. w tekście i na 2 tablic. Cena Zł. 20.—*

Tom V (1930)

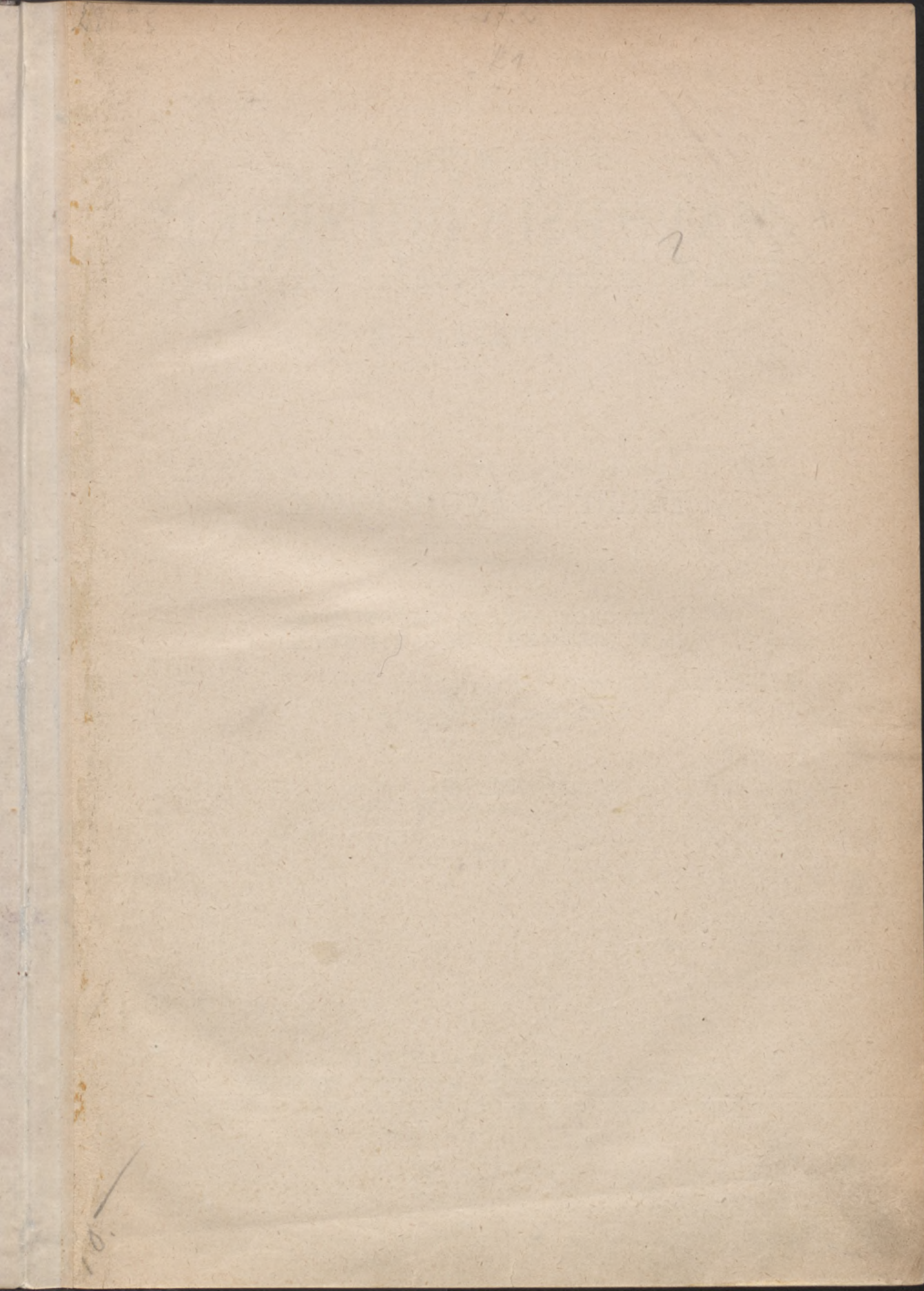
Dr. M. AUERBACH. Arytmetyka grecka u szczytu jej rozwoju (Diofantos). — Prof. Dr. Fr. LEJA. Przyczynek do teorji zbieżności średniej. — Dr. E. RYBKA. Rozkład gwiazd i integralnego blasku w gromadzie kulistej Messier 3. —Dr. W. ŚLEBODZIŃSKI. Rozwoj geometrji różniczkowej od r. 1917.— Dr. E. STENZ. Kształt sklepienia niebieskiego. — L. A. Birkenmajer. — Dr. S. SZCZENIOWSKI. Względnościowa mechanika falowa według Diraca.— S. WARHAFTMAN. Niels Henrik Abel.—V. Zjazd Fizyków Polskich. — Doc. Dr. W. WERNER. Rola zadań liczbowych w szkolnem nauczaniu fizyki. — Prof. Dr. S. ZIEMECKI. Widmo fal elektromagnetycznych. — Doc. Dr. A. ZYGMUND. O pewnych nierównościach.

NOTATKI — KRONIKA — BIBLJOGRAFJA — ZADANIA — KURJOZA

*Str. 218 z rys. w tekście i na 2 tabl. i 1 portr. Cena Zł. 20.—*

TOM VI (1931) z dodatkiem „Uranja" *w prenumeracie Zł. 20.— rocznie.*

REDAKCJA I ADMINISTRACJA:
WARSZAWA, MARSZAŁKOWSKA 81. TEL. 690-14. KONTO W P. K. O. 12628
SKŁAD GŁÓWNY W KSIĄŻNICY-ATLAS T. N. S. W.



BIBLJOTEKA

# „MATHESIS POLSKIEJ"

CZASOPISMA MATEMATYCZNO-FIZYCZNEGO

---

# DZIEJE ROZWOJU FIZYKI

W ZARYSACH

OPRACOWALI

Dr M. GROTOWSKI, M. SADZEWICZOWA,
Dr W. WERNER i Dr S. ZIEMECKI

Wydanie drugie, całkowicie przerobione

TOM II

WARSZAWA — 1931
NAKŁADEM REDAKCJI „MATHESIS POLSKIEJ"
SKŁAD GŁÓWNY W KSIĄŻNICY-ATLAS T. N. S. W.

# DZIEJE ROZWOJU FIZYKI

W ZARYSACH

OPRACOWALI

Dr M. GROTOWSKI, M. SADZEWICZOWA,
Dr W. WERNER i Dr S. ZIEMECKI

Wydanie drugie, całkowicie przerobione

TOM II

ELEKTRYCZNOŚĆ i MAGNETYZM
OPTYKA
BUDOWA MATERJI

Z licznemi rysunkami w tekście i na oddzielnych tablicach oraz 14 portretami

WARSZAWA — 1931
NAKŁADEM REDAKCJI „MATHESIS POLSKIEJ"
SKŁAD GŁÓWNY W KSIĄŻNICY - ATLAS T. N. S. W.




Odbito czcionkami Drukarni Krajowej w Warszawie, Chłodna 44. Telef. 188 - 70.

# ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM

OPRACOWAŁ

W. WERNER.

STAROŻYTNOŚĆ I ŚREDNIOWIECZE. — CZASY ODRODZENIA. — NASTĘPCY GILBERTA. — TEORJA FLUIDÓW ELEKTRYCZNYCH. — PRĄDY GALWANICZNE. — DZIAŁANIE MAGNETYCZNE PRĄDÓW GALWANICZNYCH.—DZIEŁO FARADAY'A.—TEORJA PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH.—DRGANIA I FALE ELEKTROMAGNETYCZNE.

## Rozdział I.

## STAROŻYTNOŚĆ I ŚREDNIOWIECZE.

### Wiadomości o elektryczności i magnetyzmie u Greków i Rzymian.

WIADOMOŚCI starożytnych o zjawiskach elektrycznych i magnetycznych były nad wyraz skąpe. Według świadectwa Arystotelesa, pierwszy Thales z Miletu (ok. 640—550 prz. Chr.) poznał zadziwiającą własność przyciągania lekkich ciał przez potarty bursztyn — materjał, przywożony do Grecji z brzegów Bałtyku na klejnoty i ozdoby.

Jako warunek, konieczny do wywołania zjawiska, uważano ogrzanie bursztynu: pocieranie miało tylko przyczyniać się do ogrzania.

Teofrast z Lesbos (372—287 przed Chr.) wykrył, że inne jeszcze ciało, zwane „Lynkurion", posiada te same własności. Nie wiemy jednak, co się kryje pod tą nazwą; istnieje przypuszczenie, że był to turmalin, istotnie dobrze nadający się do doświadczeń z elektrycznością.

Co do magnetyzmu, to wiedziano, że kawałki pewnych rud żelaznych, czyli magnesy naturalne, nazywane przez Greków wprost „kamieniami", mogą przyciągać żelazo. Platon (427—347 przed Chr.), uczeń Sokratesa, twórca nauki o ideach, w dialogu swoim „Jon" wzmiankuje, że żelazo, zetknięte z magnesem, samo nabiera własności magnetycznych, lecz traci je po oderwaniu. Że i wtedy zachowuje część własności magnetycznych, poznał dopiero Izydor z Aleksandrji (570—636).

Trudno, aby na tak nikłej liczbie faktów można było oprzeć jakiekolwiek, choć w skromnym zakresie zadawalające ich objaśnienie. Arystoteles wyobrażał sobie, że magnes ma „duszę", gdyż tylko ciała, obdarzone duszą (może rozumiał przez to ciała żyjące), mogą wywoływać ruch. Inne próby objaśnienia, oparte na hipotezie wypływów elektrycznych i magnetycznych, były bardzo mgliste, jak

tego dowodzi urywek, w którym Aleksander z Aphrodisias (w Azji Mniejszej, filozof ze szkoły perypatetyków, wiek II i III po Chr.) streszcza poglądy filozofa i lekarza greckiego Empedoklesa (494—434 przed Chr.): „Pory żelaza, które leżą symetrycznie do porów kamienia magnetycznego, są przez wypływy magnesu uwalniane od wypełniającego je powietrza. To silnie zwiększa wypływy z żelaza; te wypływy przenikają w pory magnesu i porywają z sobą żelazo“ [1]).

Zato nie brak w literaturach starożytnych fantastycznych opowieści o cudownych leczniczych i magicznych właściwościach magnesów. Rzymski historyk, przyrodnik i erudyta Pliniusz starszy (23—79 po Chr.) opowiada o dwóch magnetycznych górach nad Indem, z których jedna gwałtownie przyciąga, a druga gwałtownie odpycha przedmioty żelazne; zbliżenie się do nich okrętu grozi wyrwaniem zeń wszystkich gwoździ i niechybnem zatonięciem.

### Magnetyzm w średniowieczu.

Dalsze wiadomości o magnesach, szczególnie o ich zdolności wskazywania kierunków świata, doszły do Europy ze wschodu, już w czasach średniowiecza. W Chinach dawno już, jakoby przed narodzeniem Chrystusa, znana była ta własność magnesu; niewątpliwe wiadomości o tem datują z r. 121 po Chr. Podczas podróży dostojników państwowych przez stepy Mandżurji, na wozach umieszczano figurki z nefrytu, które, obracając się na pionowej osi, wyciągniętą ręką wskazywały stronę południową; sprawiała to igła magnetyczna, umieszczona w ręku posążku. Prawdopodobnie już w wieku VIII stosowali Chińczycy magnesy w żegludze, umieszczając kawałek magnesu naturalnego na podstawce drewnianej, pływającej w naczyniu z wodą. W Chinach również zaczęto igłę magnetyczną umieszczać na tle koła z podziałką, wskazującą główne kierunki wiatrów; był to prototyp dzisiejszej busoli.



Rys. 1.
Chińska busola.

[1]) Cytowane wg. Hoppe. *Geschichte der Physik. 1926.*

Za pośrednictwem Arabów przeniknęło użycie busoli do Europy; w końcu wieku XII była już znana we Francji. Początkowo utożsamiano kierunki magnetyczne z kierunkami geograficznemi; dopiero Krzysztof Kolumb (1451—1506) podczas swej pierwszej podróży do Ameryki, obserwując zachód słońca d. 14 września 1492, a więc blisko chwili porównania dnia z nocą, zauważył, że północny biegun igły zbacza na wschód od kierunku południka geograficznego. W kilka lat później, podczas powrotu do Europy, Kolumb stwierdził, że zboczenie wschodnie przeszło w zachodnie po przekroczeniu pewnej linji, która jakoby pod różnemi względami miała stanowić granicę pomiędzy półkulą wschodnią i zachodnią. Przez to spostrzeżenie Kolumb zapoczątkował obserwacje nad magnetyzmem ziemskim, które rozwinęły się później w obszerny dział wiedzy.

---

## Rozdział II.

## CZASY ODRODZENIA.

UBÓSTWO dawnej wiedzy o zjawiskach elektrycznych i magnetycznych musimy przypisać przedewszystkiem tej okoliczności że organizm ludzki nie posiada oddzielnego zmysłu, któryby go pouczał o istnieniu tych zjawisk, tak jak np. zmysł słuchu poucza go o istnieniu fal głosowych, zmysł temperatury o zjawiskach cieplnych, a zmysł mięśniowy o ruchu i siłach. W tych wszystkich dziedzinach ludzkość zebrała mnóstwo materjału doświadczalnego, raczej instynktownego niż świadomego, które mimo to stanowiło podstawę do zastanawiania się nad zjawiskami i do ich celowego powtarzania. Zjawiska elektryczne tego bodźca nie dostarczały. Aby wciągnąć je w orbitę swoich zainteresowań, umysł ludzki musiał przebyć przewrót, którego świadkiem było zaranie wieku Odrodzenia, musiał zawierzyć świadectwu zmysłów i wyznaczyć właściwe miejsce doświadczeniu, tłumionemu długie wieki przez rozumowanie i ślepe zaufanie do wiedzy, przekazanej przez mędrców starożytności.

Ten przewrót w metodzie badania przyrody, wprowadzony w mechanice przez Galileusza (ob. t. I, str. 40), skłonił współczesnego mu lekarza angielskiego Gilberta do doświadczalnych poszukiwań w dziedzinie elektryczności i magnetyzmu i wyjścia poza te skąpe wiadomości, jakie do tej pory były zgromadzone.

---

### WILIAM GILBERT.

*(1540 — 1603).*

Urodził się w Colchester, studjował medycynę w Oxfordzie i Cambridge. Jako lekarz nadworny królowej Elżbiety, poświęcał wolny czas studjom naukowym. Przejął się ideami współczesnego mu filo-

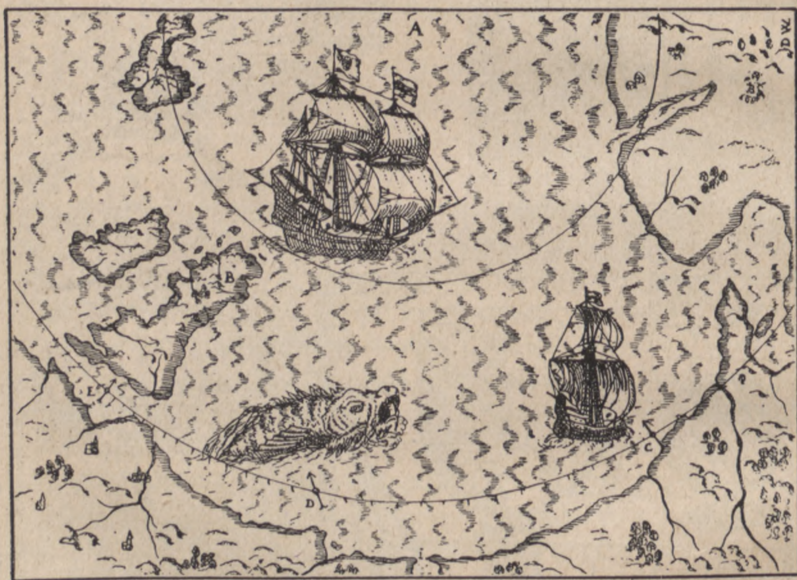



Rys. 2.
Igła inklinacyjna Gilberta.

zofa i męża stanu angielskiego Francis'a Bacon'a z Verulamu (1561—1626), jednego z najkonsekwentniejszych rzeczników nowej filozofji, który jedyne źródło wiedzy upatrywał w empirycznem poznawaniu zjawisk; Gilbert w sposób świetny zastosował

ogólnikowe zasady swego ziomka i w dziele swem „De Magnete" (1600) dał mocne podwaliny pod nowy dział wiedzy: naukę o elektryczności i magnetyzmie.

Gilberta interesowało zagadnienie magnetyzmu ziemskiego. Uważał ziemię za wielki magnes, a, by lepiej zbadać jego właściwości, sporządził kulę z rudy magnetycznej, jako model ziemi („terrella") [1] i śledził jej działanie na druciki żelazne i igły magnetyczne (ob. niżej). Znalazł bieguny magnetyczne kuli i stwierdził, że igła,



Rys. 3.
Mapa magnetyczna Gilberta.

ustawiająca się naogół ukośnie względem powierzchni kuli, na biegunach jest do niej prostopadła. Takie same nachylenie (inklinację) odkrył Gilbert w polu ziemskiem, przebijając kulę drewnianą igłą magnetyczną o tak dobranej masie, aby mogła unosić się w wodzie. Zmierzona w ten sposób wartość nachylenia wyniosła w Londynie 72°. Brak pomiarów w innych miejscowościach nie pozwalał porównać ich i sprawdzić wniosków, wysnutych z obserwacji „terrelli". Dopiero w r. 1608, a więc po śmierci Gilberta, żeglarz angielski Hudson zmierzył nachylenie w Zatoce swego imienia, pod 75°22′ sz. geogr.

[1]) Zdrobniałe od terra = ziemia.

i znalazł wartość $89^1/_2{}^0$, a więc prawie tyle, ile powinna wynosić na biegunie magnetycznym. G i l b e r t zresztą mniemał, że bieguny magnetyczne ziemi zgadzają się z geograficznemi i myślał nawet o wyznaczaniu szerokości geograficznej przez pomiar nachylenia magnetycznego. Istnienie zboczenia tłumaczył budową ziemi; wnętrze jej miało zawierać mnóstwo „kamieni magnetycznych", znacznie większe, niż spotyka się w warstwach powierzchniowych; oceany są od nich zupełnie wolne, a to powoduje, że igła odchyla się ku magnetycznemu lądowi. Załączona mapa magnetyczna G i l b e r t a wskazuje przewidywany przezeń rozkład zboczenia; rzeczywiste pomiary nie poparły tych przewidywań.

Znany już dawniej fakt, że pionowe pręty żelazne z czasem się magnesują, wyjaśnił G i l b e r t działaniem magnetyzmu ziemskiego, o którym już wiedział, że ma kierunek ukośny, a nie poziomy; naśladując to zjawisko zapomocą zwykłego magnesu, odkrył magnesowanie przez wpływ (indukcję) i przekonał się, że wstrząsanie (np. kucie) żelaza ułatwia namagnesowanie, a żarzenie usuwa własności magnetyczne. Odkrył też, że w magnesie przełamanym w miejscu przełamania powstają nowe bieguny (ob. niżej).

Równie wielkie są zasługi G i l b e r t a w nauce o elektryczności, a raczej o siłach elektrycznych: „*vim illam electricam nobis placet apellare*" (siłę tę podoba nam się nazwać elektryczną). Znalazłszy własności elektryczne u wielu ciał poza bursztynem, podzielił wszystkie ciała na elektryczne i nieelektryczne, zależnie od tego, czy, trzymane w ręku, dają się elektryzować przez tarcie, czy też nie. Zauważył, że wszystkie ciała podlegają przyciąganiu przez ciała naelektryzowane. Dla badania elektryzacji ciał używał igły miedzianej, osadzonej na osi, podobnie jak igła magnesowa; był to więc pierwszy elektroskop. Poznał wpływ wilgoci i płomienia na utratę stanu elektrycznego przez ciała. Zdawał sobie też sprawę z różnicy pomiędzy siłami magnetycznemi a elektrycznemi.

Teoretyczne poglądy G i l b e r t a, choć w zasadzie wyszły z teorji wypływów E m p e d o k l e s a, odznaczają się jednak większą precyzją. Wypływy — effluvia — wydzielają się z ciał namagnesowanych, względnie naelektryzowanych i one to wywołują ruchy ciał do nich zbliżonych. Wewnątrz magnesów istnieją wiry, które idą od bieguna do bieguna, a w przestrzeni zewnętrznej — „orbis virtutis" — łączą się zapomocą wypływów. Mamy więc jakgdyby zaczątek teorji pola wewnętrznego i zewnętrznego magnesów.

Wypływy magnetyczne, aczkolwiek materjalnej natury, są bardziej

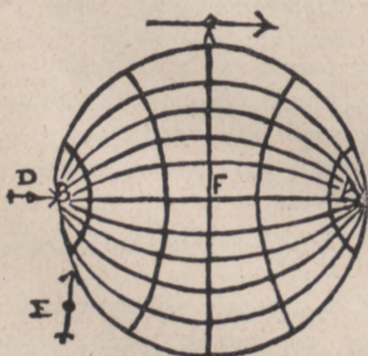
subtelne, niż grubsze od nich wypływy elektryczne. Tarcie pobudza do wydzielania wypływów. To wydzielanie nie wpływa na ciężar ciała; podobnie, zdaniem G i l b e r t a, ciała wonne przez lata całe wydzielają zapach bez straty swego ciężaru.

## „De Magnete" [1]).

Należy wziąć silny kamień magnetyczny odpowiedniej wielkości i nadać mu postać kuli. Tak ukształtowany kamień jest wiernym i dokładnym obrazem ziemi; nazwiemy go zatem „*terrella*".

Aby znaleźć bieguny magnesu, odpowiadające biegunom ziemi, należy wziąć go w rękę i położyć na nim cieniutki drucik żelazny [nić]. Końce drutu zostaną poruszone, a potem nagle uspokoją się. Miejsce, gdzie nić leży i przywarła, obrysujmy kredą. Następnie przenieśmy środek nici do innego miejsca, potem do trzeciego i czwartego i za każdym razem naznaczmy kamień kreską wzdłuż kierunku nici. Te kreski wyobrażają na terrelli linje, które można przyrównać do południków; okaże się wyraźnie, że zbiegają się one w biegunach kamienia magnetycznego. W równych odległościach od tych biegunów można przeciągnąć wielkie koło, które odpowiadałoby równikowi.

Inny sposób znajdowania biegunów polega na posługiwaniu się igłą magnetyczną, zaopatrzoną we wgłębienie i tak osadzoną na ostrzu, że może się na niem swobodnie poruszać.



Rys. 4.
Bieguny kuli magnetycznej.

Ten kompas (rys. 4) ustawiamy na kuli *AB* w *C* tak, aby igła znajdowała się w równowadze. Teraz naznaczamy kredą kierunek spoczywającej igły, przenosimy przyrząd do innego punktu i znów znaczymy kierunek. Jeśli uczynić to w wielu miejscach, to ze zbiegania się linij znajdziemy jeden biegun w punkcie *A*, drugi w *B*. Sam biegun wykaże igła magnetyczna, zbliżona do kamienia, ustawiając się prostopadle do powierzchni kamienia i wskazując na biegun, a zatem i na środek kuli...

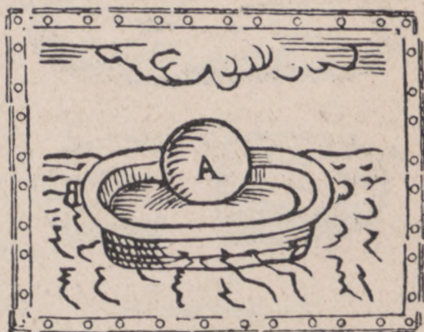
Podobnie jak jeden z biegunów ziemi jest skierowany do gwiazdozbioru polarnego i wskazuje zawsze na jeden i ten sam punkt nieba,

---

[1]) Data wydania r. 1600. Tłumaczone z F. Dannemann: „Aus der Werkstatt grosser Forscher".

podczas gdy drugi spogląda na przeciwległą okolicę nieba — tak samo i magnes ma własność skierowywania się ku biegunom północnemu i południowemu, jak to wyobraża rys. 5.

Połóżmy kamień magnetyczny *A*, w którym znaleźliśmy już bieguny, do okrągłego naczynia drewnianego *BC* i umieśćmy go razem z naczyniem w większym zbiorniku z wodą tak, aby magnes pływał bez przeszkody w środku zbiornika. Kamień zaczyna natychmiast poruszać się razem z naczyniem i kręci się tak długo, póki biegun południowy nie wskaże na północ, a biegun północny na południe [1]).




Rys. 5.
Magnes pływający (busola).

Wiadomo, że magnes przyciąga żelazo. Ale w ten sam sposób jeden kamień magnetyczny przyciąga drugi. Kamień magnetyczny, którego bieguny zostały rozpoznane i oznaczone, włóżmy do odpowiedniego naczynia tak, aby mógł w niem pływać. Niechaj bieguny jego leżą w płaszczyźnie poziomej. Drugi kamień, również o naznaczonych biegunach, weźmy do ręki i trzymajmy tak, by jego biegun południowy był zwrócony ku biegunowi północnemu kamienia pływającego. Teraz zbliżajmy go z boku. Pływający kamień natychmiast będzie pośpieszał ku niemu, póki do niego nie przywrze, o ile przez podstawioną dłoń nie zapobiegniemy zetknięciu. Jeśli będziemy zbliżali biegun północny trzymanego w ręku kamienia do bieguna południowego kamienia pływającego, to znów nastąpi przyciąganie. Jeśli jednak będziemy w podobny sposób zbliżali biegun południowy do południowego, a północny do północnego, to kamienie będą się od siebie oddalały...

Wybierzmy podługowaty kamień magnetyczny *AD*, którego biegun północny jest w *A*, a południowy w *D*, i podzielmy go na dwie równe części. Następnie puśćmy część *AB* na wodę, aby pływała; zauważymy, że biegun północny *A* będzie wskazywał, jak poprzednio, ku południowi, podobnie biegun *B* — ku północy. Lecz końce *B* i *C*, które

---

[1]) Obecnie biegunem północnym nazywamy ten biegun, który wskazuje na północ. Sposób oznaczania Gilberta utrzymał się jeszcze długo w literaturze francuskiej (ob. np. wyjątki z prac Ampère'a).

poprzednio były z sobą złączone, stały się teraz biegunem południowym i północnym. Biegun południowy *B* przyciąga biegun północny *C*. Jeśli niema żadnej przeszkody, a ciężar [kawałków magnesu] jest zniesiony, jak to ma miejsce na powierzchni wody, to bieguny zbliżają się i łączą z sobą. Jeśli jednak zbliżyć biegun *A* do bieguna *C* drugiego kamienia, to odbiegają od siebie...



Rys. 6.
Dzielenie magnesu.

Przyczyna ruchów magnetycznych różni się bardzo od sił bursztynu. Starożytni, a także i nowsi pisarze wspominają, że bursztyn przyciąga plewy. To samo czyni gagat [rodzaj węgla brunatnego], który jest wydobywany z ziemi w Anglji, Niemczech i wielu innych krajach. Ale nietylko te dwie substancje przyciągają drobne ciała; również djament, szafir, rubin, opal, ametyst, beryl i kryształ górski zachowują się tak samo. Podobne siły przyciągania posiada szkło. Siarka i żywica przyciągają również...

Wszystkie te substancje przyciągają nietylko plewy, ale i wszystkie metale, drzewo, liście, kamienie, ziemię, nawet wodę i olej, jednem słowem, wszystko, co podpada pod zmysły. Aby jednak ustalić przez doświadczenia, jak to przyciąganie się odbywa, i które to substancje przyciągają w ten sposób inne ciała, należy sporządzić wskazówkę długości 3— 4 cale z jakiegokolwiek metalu i umieścić ją na ostrzu igły, podobnie jak w kompasie, aby się mogła łatwo poruszać. Jeśli do tej wskazówki zbliżać bursztyn lub kryształ górski, uprzednio potarty, to wskazówka natychmiast zostanie poruszona...

Magnes objawia swój magnetyzm bez uprzedniego pocierania, w stanie zarówno suchym, jak wilgotnym, w powietrzu, jak i w wodzie, nawet wtedy, gdy pomiędzy magnesy wstawić jaknajmasywniejsze ciała, jako to płyty z drzewa i kamienia, lub krążki metalu. Magnes działa jedynie na ciała magnetyczne, podczas gdy substancje elektryczne przyciągają wszystko. Może też magnes unosić znaczne ciężary, gdy ciało naelektryzowane jest w stanie przyciągnąć tylko niewielkie...

---

## Rozdział III.

## NASTĘPCY GILBERTA.

### Nowe fakty.

WZBUDZONE przez Gilberta zaciekawienie zjawiskami elektrycznemi i magnetycznemi, pobudzało do wielu powtarzań i prób, ale tylko nielicznym badaczom udało się odnaleźć istotnie nowe strony zawiłych i tajemniczych zjawisk.

Otto v. Guericke (ob. t. I, str. 65) zbudował pierwszą maszynę elektryczną, złożoną z dużej kuli, odlanej z siarki i osadzonej na osi. Trąc ręką obracającą się kulę, mógł otrzymać zjawiska o nieznanem dotychczas natężeniu. Odkrył, że ciała naelektryzowane mogą nietylko przyciągać, ale i odpychać: pierze, przyciągnięte przez siarkę, po zetknięciu z nią odskakiwało i wówczas było przyciągane przez ciało obserwatora, ale, zetknąwszy się z niem, mogło być znów przyciągane przez siarkę.

Gdy koniec nici długości 1 stopy, przewieszonej przez pręt drewniany, zetknął z naelektryzowaną kulą siarkową, drugi koniec nici nabierał własności przyciągania lekkich ciał. Z obu odkrytych faktów: odpychania elektrycznego i przenoszenia się stanu elektrycznego, Guericke nie wyciągnął konsekwencji. Uczynili to jego następcy.

---

STEFAN GRAY (1670—1736), członek Royal Society (ob. życiorys Faraday'a), zbadał szczegółowo drugie z tych zjawisk. Zawieszając sznur konopny na nitkach jedwabnych, wziętych do tego celu z powodu swej cienkości, mógł przenosić stan elektryczny przez 765 stóp sznura. Zastąpiwszy zerwaną nić jedwabną cieniutkim drucikiem metalowym, przekonał się o zasadniczo różnych własnościach tych dwóch substancyj. Zbadawszy szereg ciał, Gray podzielił je na złe i dobre przewodniki oraz dostrzegł, że podział ten odpowiada podziałowi Gilberta na ciała elektryczne i nieelektryczne. Stwierdziwszy, że

ciało ludzkie przewodzi dobrze, mógł tę okoliczność wskazać, jako przyczynę niemożności naelektryzowania ciał przewodzących, trzymanych w ręku.

Zawieszając chłopca na sznurach z włosia lub stawiając go na placku z żywicy, mógł go silnie naelektryzować zapomocą pocierania rury szklanej; naelektryzowanie następowało już przy zbliżaniu ręki do rury. Było to więc elektryzowanie przez indukcję, lepiej zbadane później przez Hawksbee (1713) i Aepinusa (1724—1809).

Charles François de Cisternay Dufay (1698 — 1739), członek Akademji, powtarzając doświadczenia Guericke'go z odpychaniem ciał naelektryzowanych, zbliżył do listka złota, naelektryzowanego przez zetknięcie z rurą szklaną, potartą płytkę z żywicy; zamiast spodziewanego odpychania, zauważył przyciąganie się ciał naelektryzowanych. Zbadanie bliższe tych zjawisk doprowadziło go do odkrycia, że istnieją dwa odrębne rodzaje naelektryzowania: „istnieją dwa rodzaje elektryczności; jedna, którą nazwę szklaną, druga, którą nazwę żywiczną. Pierwsza powstaje w szkle, drogich kamieniach, włosiu, wełnie i t. p., druga — w bursztynie, żywicy, jedwabiu i t. d. Zasadnicza różnica obu rodzajów polega na tem, że każdy z nich odpycha sam siebie, natomiast przyciąga rodzaj drugi".

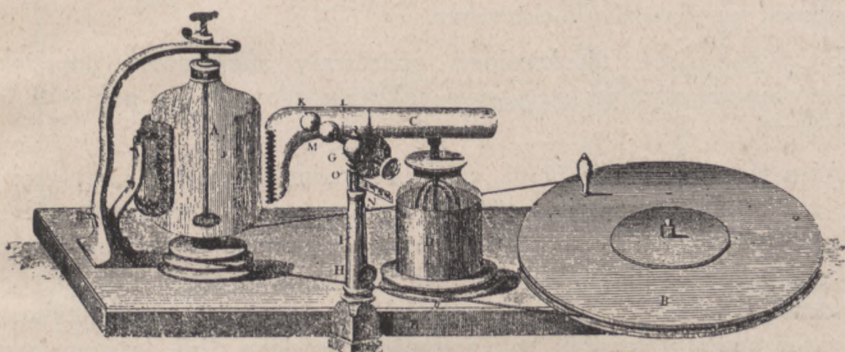
Teorja dwóch rodzajów naelektryzowania, dwóch rodzajów „atmosfer", któremi poglądy ówczesne otaczały ciała naelektryzowane, nie trafiła do umysłów współczesnych uczonych, budziła silny sprzeciw, i dopiero przez Symmera została ponownie wprowadzona do nauki.

### Udoskonalenia techniczne.

Równolegle z odkrywaniem nowych faktów szedł postęp w technicznych środkach otrzymywania silnych stanów elektrycznych. Pierwsza machina elektryczna Guericke'go doznała szeregu doniosłych ulepszeń. Siarkę zastąpiono szkłem — najpierw kulą (1743), potem walcem, wkońcu płytą (1755); zamiast tarcia o rękę zastosowano poduszki skórzane (1744), które następnie nauczono się pokrywać amalgamatem (1762); wprowadzono t. zw. konduktor, t. j. dużą izolowaną kulę lub walec metalowy, na którym gromadzono elektryczność; do zbierania jej ze szkła służyły najpierw zwisające druty, potem — po odkryciu, że ostrze może „zbierać" elektryczność ze zbliżonego doń ciała — metalowe grzebienie. Rys. 7 wyobraża maszynę Lane'a z r. 1766, w której zastosowano te wszystkie ulepsze-

nia. Optyk angielski Ramsden nadał maszynie postać, w której przetrwała bez zasadniczych zmian do końca wieku XIX, kiedy ostatecznie musiała ustąpić maszynie influencyjnej. Te udoskonalenia pozwalały otrzymywać duże napięcia gromadzonej elektryczności.

Doniosłem było odkrycie holenderskiego fizyka Pietera Musschenbroeka z Leydy (1692 — 1761): chcąc zgromadzić większą ilość elektryczności, napełnił szklankę wodą, której przeznaczył



Rys. 7.
Maszyna elektryczna Lane'a.

tę rolę; trzymając szklankę w dłoni, zbliżył zanurzony w niej drut do konduktora maszyny; dotknąwszy następnie drugą ręką drutu otrzymał silne, wstrząsające uderzenie. Jednocześnie tego samego odkrycia dokonał Kleist na Pomorzu. Inni badacze udoskonalili tę „butelkę lejdejską", przez oklejanie jej — naprzód zzewnątrz, potem od wewnątrz — cynfolją, lecz dopiero Franklin wyjaśnił jej własności przyciągającem działaniem nabojów, gromadzących się na obu okładkach.

### Wyładowania elektryczne.

Te ulepszenia techniczne pozwalały zauważyć wiele nowych objawów, związanych z rozbrajaniem się silnie naelektryzowanych ciał, a dawniej zaobserwowane wytwarzać w znacznem natężeniu i zbadać je dokładnie.

Już Guericke zauważył świecenie, występujące pomiędzy kulą siarkową a ręką, o którą się tarła, oraz towarzyszące temu trzeszczenie. W r. 1708 anglik Wall otrzymał silne iskry z potartego bursztynu, a nawet upodobnił je do błyskawic, a trzask do pioruna.

Hawksbee wytwarzał świecenie próżni Torricellego przez tarcie rtęci o szkło. Gray już odróżniał wypływy świetlne od iskry.

### Teorje wypływów.

Rozpowszechnianie się machin elektrycznych popularyzowało te objawy, lecz przez to skierowało w mylną stronę poglądy współczesnych na zjawiska elektryczne.

Były one dość nieokreślone, operowały niejasnemi pojęciami „atmosfer" i „wypływów"; nowe odkrycia zdawały się popierać ich słuszność.

Abbé Nollet (1700—1770), członek Akademji, świetny popularyzator nauk fizykalnych, pozostający w nieustannej korespondencji ze wszystkimi niemal, co mogli coś nowego powiedzieć, wypełnił swemi listami poważne zadanie w dziejach fizyki, szczególnie nauki o elektryczności: w czasie, gdy nie wychodziły jeszcze czasopisma naukowe, rolę ich spełniał wysiłek tego jednego człowieka. Był gorącym zwolennikiem teorji „wypływów i napływów", którą tak streszcza w ujęciu prof. z Genewy Neckera[1]: „Z ciała naelektryzowanego wydobywa się materja, która jednocześnie zostaje zastąpiona przez inną, podobną, napływającą do ciała. Od tego to jednoczesnego prądu podwójnego, modyfikowanego przez różne okoliczności, zależą tak różnorodne zjawiska... Ma on analogję w materji, jaką zwolennicy Newtona upatrują w świetle". (Por. teorję korpuskularną Newtona w dziale Optyki). Rys. 8 wskazuje, jak Nollet wyobrażał sobie te wypływy; kształt ich, oczywiście, przypomina kształt linij pola elektrycznego.

Jak te poglądy służyły do objaśnienia zjawisk, mówi cytowany przez Nollet'a list Jallabert'a:

„Kiedy mnie naelektryzowano, i osoba nienaelektryzowana zbliżała palec do mojej dłoni, odczuwałem bardzo wyraźnie słaby wiatr, a miotełka miała podstawę na mojej dłoni, a szczyt na końcu nienaelektryzowanego palca...

Kiedy, stojąc na placku z żywicy, wyciągałem palec ku dłoni nienaelektryzowanej, nie czułem żadnego podmuchu: miotełka wycho-

---

[1]) Abbé Nollet „Lettres sur l'éléctricité" 3 tomy, Paryż 1774—1777.

Rys. 8.
Wypływy elektryczne według Nollet'a.

dziła z mego palca, a podstawą spoczywała na dłoni mego przyjaciela, który czuł lekki wiatr.

W tych dwóch wypadkach mamy dowód istnienia dwóch materyj [elektrycznych] *wypływającej* i *napływającej*".





W tych doświadczeniach mamy oczywiście do czynienia z działaniem palca jako ostrza; zarówno ruch powietrza, jak i wychodząca z palca miotełka świetlna są skutkami nagromadzonego na ostrzu naboju o dużej gęstości powierzchniowej. Wszyscy wspomniani fizycy nie odróżniali jednak zjawiska zasadniczego: przyciągań i odpychań elektrycznych, od objawów ubocznych, towarzyszących utracie naboju.

---

## Rozdział IV.

## TEORJA FLUIDÓW ELEKTRYCZNYCH.

POTRZEBA było wyjątkowo jasnego i nieuprzedzonego umysłu, aby trafną hipotezą wyjaśnić zjawiska już znane i wskazać planową drogę do gromadzenia nowych. Tego doniosłego czynu naukowego dokonał

### BENJAMIN FRANKLIN.

*(1706 — 1790).*

Znakomity mąż stanu, pisarz i uczony amerykański, urodził się w Bostonie; ojciec jego miał mydlarnię i nie posiadał środków na systematyczne kształcenie syna, który wcześnie już zaczął okazywać niezwykłe zamiłowanie do nauki i czytania oraz charakter energiczny, stanowczy i samodzielny. Nauczywszy się czytać niemal bez pomocy, wszystkie swe oszczędności wydawał następnie na kupno książek; a w kolonjach amerykańskich książka była podówczas rzeczą rzadką. Marzeniem chłopca było zostać marynarzem, to też ćwiczył się usilnie w pływaniu i żeglarstwie; ale te plany nie były na rękę ojcu, który chciał uczynić z niego przemysłowca, a widząc, że do własnego zawodu go nie zachęci, oddał go na naukę do drukarni, którą posiadał drugi jego syn. Tutaj Benjamin Franklin przebył do 18-go roku życia, ucząc się fachu, ale i kształcąc jednocześnie swój umysł ze spokojnym uporem, który cechował całe jego życie. W tym czasie brat jego przystąpił do wydawania dziennika; dało to Franklinowi sposobność obcowania z wielu wybitnymi ludźmi i przysłuchiwania się dyskusjom na tematy naukowe i polityczne; wkrótce sam spróbował swych sił, a artykuły jego, pomieszczone w dzienniku, zwróciły powszechną uwagę; ale w końcu kilka ostrych

zwrotów przeciwko rządowi spowodowało zamknięcie pisma przez władze angielskie.

Nieporozumienia z bratem skłoniły Benjamina do opuszczenia Bostonu; wkrótce znalazł miejsce drukarza w Filadelfji, skąd został wysłany przez gubernatora Pensylwanji do Londynu w celu nabycia przyborów, potrzebnych do założenia pisma. Po szeregu przygód i niepowodzeń, które przezwyciężył dzięki silnej woli i wytrwałości, powrócił do Filadelfji, gdzie założył własną drukarnię. Zebrawszy grupę ludzi wykształconych, urządzał wraz z nimi stałe zebrania, poświęcone dyskusjom nad sprawami nauki i życia; następnie zakupiono dziennik, — i od tej chwili zaczyna szybko wzrastać sława Franklin'a jako publicysty. Jednocześnie bierze on coraz żywszy udział w życiu miejscowem, dzięki czemu zostaje w r. 1736 członkiem rady prowincjonalnej i dyrektorem poczt; zapoczątkowuje i zakłada szereg pożytecznych instytucyj, jak czytelnię i bibljotekę publiczną (pierwszą w Ameryce), straż ogniową, szpital i przytułek dla biednych, drogą składek zbiera fundusze na szkołę wzorową (późniejszy uniwersytet) i t. d.

Na tę epokę przypada też zainteresowanie się Franklin'a zjawiskami elektrycznemi[1]). Pomiędzy książkami, przysłanemi do założonej przez niego bibljoteki, znajdowała się broszura fizyka angielskiego Watson'a, drukowana w r. 1746, a zawierająca opis nowych doświadczeń z tej młodej jeszcze dziedziny badania. Franklin, zapoznawszy się z tą książką, nietylko powtórzył zawarte w niej doświadczenia, ale obmyślał coraz to nowe, z początku sam, później w towarzystwie Kinnersley'a, Hopkinson'a i Sing'a, mężów, którzy zajęli następnie poważne stanowiska w naukowym świecie angielskim. Na surowym gruncie kolonji, usunięci z pod bezpośredniego wpływu uczonych europejskich, nie mając ani ulepszonych przyrządów, ani nie znając poglądów rozpowszechnionych, badacze amerykańscy szli własnemi drogami, czasem „odkrywając Amerykę po raz wtóry" (np. wynajdując machinę elektryczną), lecz zarazem wnosząc świeży, nieuprzedzony pogląd na zjawiska. Na tym gruncie powstała teorja Franklin'a, zakładająca, że elektryczność jest płynem, „ogniem elektrycznym", zawartym w stanie normalnym we wszystkich ciałach w pewnym określonym stosunku; taka równowaga może być jednak zakłócona; wówczas płyn elektryczny prze-

---

[1]) Dalsze szczegóły zaczerpnięto z dzieła P. Benjamin'a: „The intelectual Rise in Electricity". New York, 1898.

chodzi z jednego ciała do drugiego; to ostatnie będzie teraz zawierało nadmiar elektryczności, t. j. będzie naelektryzowane dodatnio: pierwsze natomiast będzie miało niedobór — będzie naelektryzowane ujemnie. „*A*, stojąc na wosku i pocierając rurę [szklaną], zbiera ogień elektryczny z siebie do rury; ponieważ połączenie pomiędzy nim a zapasem ogólnym jest przerwane przez wosk, przeto ciało jego nie może być odrazu zaopatrzone nanowo. *B* (stojąc również na wosku), wodząc kłykciem wzdłuż rury, odbiera od niej ogień, zebrany w szkle przez *A*, a ponieważ jego połączenie z ogólnym zapasem jest również przerwane, przeto zatrzymuje pobraną ilość dodatkową. *C*, stojącemu na podłodze, obaj wydają się naelektryzowani; posiadając bowiem średnią ilość ognia elektrycznego, otrzymuje iskrę od *B*, który posiada nadmiar tego ognia, oraz udziela iskry *A*, który ma niedobór. Jeśli *A* i *B*, zbliżywszy się, dotkną się wzajemnie, to iskra jest silniejsza, gdyż różnica między nimi jest większa".

Równolegle do dociekań nad naturą zjawisk elektrycznych szły odkrycia doświadczalne; Franklin opisał je w listach do Collinson'a, botanika angielskiego, który je następnie komunikował Towarzystwu Królewskiemu; zbiór tych listów wyszedł potem jako „Doświadczenia Filadelfijskie". Uwagę Franklin'a zwróciła butelka lejdejska, wynalazek Kleista i Musschenbroecka (ob. str. 15). Franklin odkrył, że butelka jest naelektryzowana wewnątrz i zewnątrz: korek, zawieszony na nici jedwabnej pomiędzy przewodnikami, wiodącymi od obu okładek, waha się między nimi, a przenosząc naboje od jednej okładki do drugiej, stopniowo rozbraja butelkę. Dalej dowiódł Franklin, że siedliskiem naelektryzowania jest szkło, a nie woda, jak to wówczas powszechnie przypuszczano: woda wylana z nabitej butelki nie wykazywała ani śladu elektryczności; po nalaniu świeżej wody butelka dawała iskrę o sile niezmniejszonej. Okładki, zdaniem Franklin'a, służą tylko do zbierania elektryczności ze szkła, „do jednoczenia sił części oddzielnych". Zgodnie z tą teorją można było zmienić kształt butelki i, zamiast naczynia szklanego, użyć płaskiej płyty, pokrytej z obu stron warstewką metalu; taki kondensator otrzymał nazwę płyty Franklin'a. Franklin pierwszy też wprowadził łączenie kondensatorów w szereg i budował silne baterje, z których otrzymywał potężne iskry.

Podobieństwo iskry elektrycznej i błyskawicy zostało już oddawna zauważone (ob. str. 15), i hipoteza, że piorun jest tylko potężnem

wyładowaniem elektrycznem pomiędzy chmurą a ziemią, nie była nową; najdobitniej wypowiedział ją fizyk niemiecki W i n k l e r (1703—1770); ale było to tylko przypuszczenie, nie poparte niewątpliwemi faktami. Zasługą F r a n k l i n'a było wskazanie drogi, na której można było zdobyć potwierdzenie elektrycznej teorji burzy. Najpierw zgrupował F r a n k l i n wszystkie cechy, wspólne obu grupom zjawisk. „Płyn elektryczny", pisze w swym dzienniku z r. 1749, „zgadza się z błyskawicą w następujących szczegółach: 1) Świecenie. 2) Barwa światła. 3) Kierunek zakrzywiony. 4) Chyżość ruchu. 5) Przewodzenie przez metale. 6) Trzask lub szmer przy wybuchu. 7) Istnienie w wodzie lub lodzie. 8) Szarpanie ciał, przez które przechodzi. 9) Zabijanie zwierząt. 10) Topienie metali. 11) Zapalanie materyj palnych. 12) Zapach siarkowy" [zapach ozonu]. Należało jeszcze dowieść, że tak podobne do siebie istoty rządzą się jednakowemi prawami, że w tych samych okolicznościach zachowują się w ten sam sposób. Do sprawdzenia tego wydała się F r a n k l i n'o w i odpowiednią znana już dawniej, ale przez niego dokładniej zbadana własność ostrzy. Jeśli ostrze, zbliżone do przewodnika naelektryzowanego, wywołuje w nim stratę naboju, „odciąga elektryczność", to takie same działanie powinno wywierać ostrze, zbliżone do chmury, kryjącej piorun w swem łonie. „Jeśli tak jest, to czy znajomość tej władzy ostrzy nie może posłużyć ludzkości do chronienia domów, kościołów, okrętów i t. p. od uderzeń piorunów?"... Praktyczny umysł wielkiego amerykanina odrazu przewidział pożyteczne zastosowanie odkrycia, które dopiero w głowie jego istniało. F r a n k l i n opisuje doświadczenie, które mogłoby rozstrzygnąć pytanie, czy chmury burzowe zawierają elektryczność.

„Ustawić na szczycie wysokiej wieży lub dzwonnicy rodzaj pudła, dość dużego, aby pomieścić człowieka i podstawę elektryczną [izolującą]. Niechaj ze środka statywu wychodzi pręt żelazny, niechaj się zagina tak, aby przejść poza drzwi, niechaj następnie wznosi się do góry na 20 lub 30 stóp, kończąc się silnie zaznaczonem ostrzem. Jeśli podstawę utrzymywać czysto i sucho, to człowiek, stojący na niej podczas przechodzenia nisko takich chmur, może być naelektryzowany i wydzielać iskry, gdyż pręt będzie ściągał doń ogień z chmury".

F r a n k l i n byłby zapewne sam wykonał doświadczenie według podobnego planu, ale cóż, skoro w okolicach Filadelfji nie było dość wysokiego pagórka, a w całej stolicy Pensylwanji — ani jednej wieży, ani nawet domu, wyższego ponad dwa piętra! Wzięto się do zbierania funduszów na dokończenie wieży, którą zaczęto już budo-

wać przy kościele, gdy nadeszła wiadomość, że we Francji doświadczenie zostało już wykonane i to z pomyślnym wynikiem. D a l i b a r d, ustawiwszy już w r. 1752 w Marly-la-Ville pod Paryżem pręt żelazny, zgodnie ze wskazówkami, podanemi przez F r a n k l i n'a, wydobył z pręta potężne iskry podczas nadciągającej burzy [1]). Prawie jednocześnie D e l o r wykonał podobne doświadczenie w samym Paryżu. Innego, bardziej bezpośredniego doświadczenia F r a n k l i n dokonał sam; podczas zbliżającej się burzy wypuścił latawca, zaopatrzonego w drut, zaostrzony na końcu; latawiec wzniósł się ku chmurom, a gdy deszcz zwilżył nić, na której był trzymany, F r a n k l i n mógł ściągnąć elektryczność z chmur; nabił nią butelkę i otrzymywał z nią wszystkie te objawy, jakie daje elektryczność, wydobyta z machiny elektrycznej. Tożsamość elektryczności i „materji piorunowej" została przez to niezbicie stwierdzona.

Wypadki polityczne wielkiej wagi, które już parokrotnie odrywały F r a n k l i n'a od badań nad elektrycznością, teraz odsunęły go od nich zupełnie i pochłonęły całkowicie. Otoczony czcią i zaufaniem powszechnem, podejmował dwukrotnie podróż do Londynu w celu załatwiania zatargów pomiędzy kolonjami a rządem centralnym. W stolicy Anglji został przyjęty przez świat naukowy i literacki z otwartemi rękami: mianowano go członkiem Królewskiego Towarzystwa Nauk i szeregu innych stowarzyszeń. Tymczasem zatarg kolonjalny przybierał postać coraz bardziej zaognioną; F r a n k l i n bronił interesów swojej ojczyzny z niezwykłą odwagą i energją; jego spokój, inteligencja i świetna wymowa wywierały potężne wrażenie. Nadaremnie rząd starał się go ułagodzić to gwałtownemi groźbami, to obietnicami i pokusami, — wielki amerykanin ani na jotę nie odstępował od tego, co uważał za zgodne z interesem swych współobywateli. Po ostatnim jego powrocie do Ameryki nastąpił krok stanowczy: F r a n k l i n proklamował niepodległość kolonij amerykańskich. Zaczęła się wielka wojna wolnościowa. F r a n k l i n odbył jeszcze jedną podróż do Europy w trudnej misji skłonienia Francji do zawarcia przymierza z nowem państwem. W Paryżu przyjęto go z entuzjazmem. Starzec V o l t a i r e umyślnie przybył do Paryża, aby osobiście poznać znakomitego uczonego i obywatela i wprowadzić go na posiedzenie Akademji. T u r g o t uczcił go znanym wierszem, w którym streścił jego zasługi naukowe i polityczne:

---

[1]) Przy podobnem doświadczeniu poniósł śmierć prof. R i c h m a n w Petersburgu w r. 1753.

„Eripuit coelo fulmen, sceptrumque tyrannis"...
Niebiosom wydarł piorun, a berło tyranom.

W stolicy Francji doczekał się Franklin zawarcia pokoju i uznania niepodległości Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej.

Wkrótce po powrocie do Ameryki zmarł w r. 1790, czczony i uwielbiany przez wszystkich, — wielki obywatel Nowego Świata.

## Z „Doświadczeń i obserwacyj nad elektrycznością, dokonanych w Filadelfji w Ameryce"[1]).

LIST I.

DO P. P. COLLINSON'A
z Tow. Królewskiego w Londynie.

*29 lipca 1750 r.*

**Mniemania i przypuszczenia:**

dotyczące własności i działań materji elektrycznej, a wynikające z doświadczeń i obserwacyj, wykonanych w Filadelfji w r. 1749.

1) Materja elektryczna składa się z cząsteczek niezmiernie subtelnych, ponieważ może przechodzić przez materję zwykłą, nawet przez najgęstsze metale, z taką swobodą i łatwością, że nie doznaje przy tem widocznego oporu.

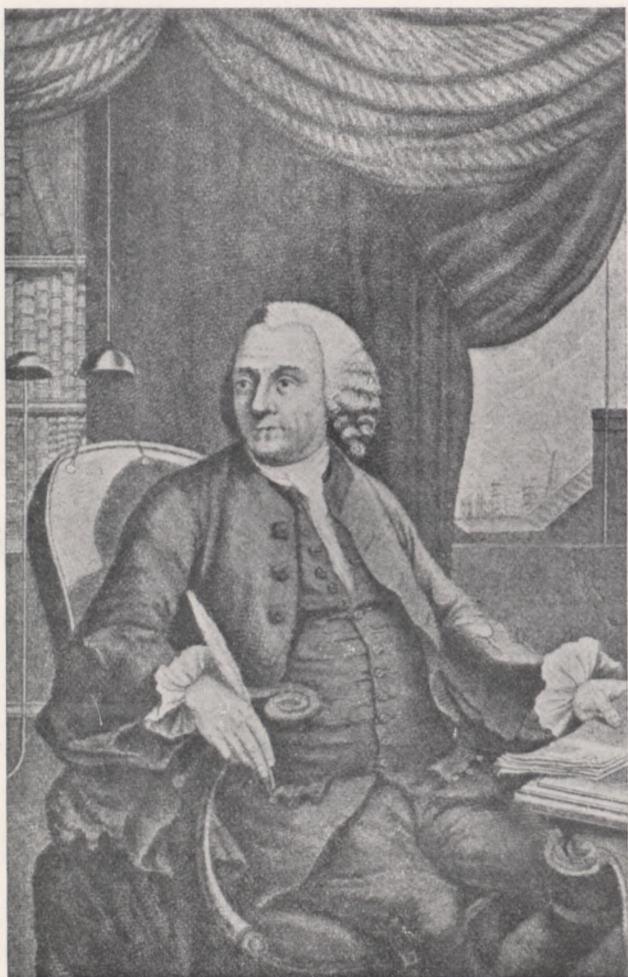
2) Materja elektryczna tem różni się od materji zwykłej, że cząstki ostatniej nawzajem się przyciągają, a cząstki pierwszej nawzajem się odpychają; to właśnie powoduje widoczną rozbieżność wypływów elektrycznych.

— — — — — — — — — — — — — —

4) Pomimo jednak, że cząsteczki materji elektrycznej odpychają się nawzajem, są one silnie przyciągane przez każdą inną materję...

5) Z tych trzech rzeczy: z nadzwyczajnej subtelności materji elektrycznej, wzajemnego odpychania się jej cząstek i silnego przyciągania między nią a innemi materjami, wynika w samej rzeczy, że jeśli pewnej ilości materji elektrycznej udzielić masie materji zwykłej, o dość znacznej grubości i długości, która jeszcze nie posiada jej we właściwej mierze, to materja elektryczna rozejdzie się natychmiast po całej masie.

[1]) Experiments and observations on Electricity made at Philadelphia in America by Benjamin Franklin; drukowane w Londynie. Tłumaczone z drugiego wydania francuskiego d'Alibard'a, Paryż 1756.



BENJAMIN FRANKLIN

6) Materja zwykła jest więc rodzajem gąbki dla płynu elektrycznego; gąbka nie nasiąkałaby wodą, gdyby cząstki wody nie były mniejsze, niż pory gąbki; nasiąkałaby powoli tylko, gdyby nie istniało przyciąganie pomiędzy cząstkami wody i cząstkami gąbki; gąbka nasiąkałaby prędzej, gdyby przyciąganie wzajemne pomiędzy cząstkami wody nie stawało temu na przeszkodzie, gdyż należy użyć pewnej siły, aby je od siebie odłączyć; wreszcie — nasiąkanie odbywałoby się bardzo szybko, gdyby zamiast przyciągania zachodziło wzajemne odpychanie cząstek wody, które współdziałałoby przyciąganiu przez gąbkę. W tem właśnie położeniu znajdują się: materja zwykła i materja elektryczna.

7) Ale materja zwykła zawiera (mówiąc ogólnie) tyle materji elektrycznej, ile może się pomieścić w jej substancji. Jeśli dodać jej więcej, to nadmiar pozostaje na powierzchni i tworzy to, co nazywamy atmosferą elektryczną [nabojem powierzchniowym]; mówimy wówczas, że ciało jest naelektryzowane.

— — — — — — — — — — — — — —

9) Wiemy, że płyn elektryczny jest zawarty w materji zwykłej, ponieważ możemy wypompować i wypędzić go z niej zapomocą kuli lub rury [szklanej]; wiemy, że materja zwykła zawiera go tyle mniej więcej, ile go może utrzymać, gdyż, jeśli dodamy go nieco do jakiejkolwiek ilości materji, to ta ilość dodana nie wchodzi do wnętrza materji, lecz wytwarza atmosferę elektryczną; wiemy wreszcie, że materja zwykła nie posiada (mówiąc ogólnie) więcej, niż może zawierać, materji elektrycznej, gdyż inaczej cząstki oderwane odpychałyby się wzajemnie, jak to czynią stale, gdy mają atmosferę elektryczną.

— — — — — — — — — — — — — —

Chcąc elektryzować dodatnio lub ujemnie [1]), należy tylko wiedzieć, że tarte części kuli lub rury przyciągają podczas tarcia ogień elektryczny, a przeto odbierają go przedmiotowi trącemu. Gdy tylko tarcie ustaje, części te są gotowe oddać pobrany ogień każdemu ciału, które go mniej posiada... Można go zbierać na jakiemś ciele, lub odciągać go od niego, zależnie od tego, czy się je łączy z ciałem trącem, czy z ciałem pobierającem...

[1]) Ustęp z listu VI, z dnia 1 września 1747 r.

## LIST X.

**(O zbieraniu elektryczności z chmur zapomocą latawca).**

*19 października 1752.*

W wiadomościach z Europy wspomina się często o powodzeniu doświadczenia filadelfijskiego, które polegało na sprowadzeniu ognia elektrycznego z chmur zapomocą prętów żelaznych zaostrzonych, umieszczonych na szczytach budynków i t. p. Dla ciekawych nie będzie zapewne niemiłą wiadomość, że to samo doświadczenie udało się wykonać w Filadelfji, w sposób odmienny i łatwiejszy. Oto szczegóły.

Składa się krzyż z dwuch listewek o ramionach dość długich, aby mogły sięgnąć czterech rogów chustki z cienkiego jedwabiu. Gdy chustka jest naciągnięta, przywiązuje się jej rogi do zakończeń krzyża; otrzymuje się w ten sposób korpus latawca. Jeśli mu dodać odpowiedni ogon i nitkę, to wzniesie się tak, jak latawiec papierowy; jedwabny jednak nie tak łatwo rozrywa się na wietrze i deszczu podczas burzy. Do szczytu krzyża należy przymocować drut bardzo ostro zakończony, tak, żeby wystawał o stopę lub więcej ponad drzewo. Do końca nitki, blisko ręki, trzeba przywiązać sznur albo taśmę jedwabną, a w miejscu połączenia nitki i jedwabiu umieścić klucz. Puszcza się latawca, gdy nadciąga burza; osoba, trzymająca sznur, powinna znajdować się w bramie lub w oknie, albo pod jakiemkolwiek schronieniem, by taśma jedwabna nie zamoczyła się; należy też zwrócić uwagę, by nić nie dotykała ramy okna albo drzwi. Gdy tylko chmura burzowa zbliży się do latawca, drut zacznie ściągać z niej ogień elektryczny, i cały latawiec naelektryzuje się wraz z nitką; niesplecione włókna nitki zaczną się rozprostowywać nazewnątrz na wszystkie strony i będą przyciągane przy zbliżeniu palca, a gdy deszcz zmoczy latawca i nitkę tak, że będą mogły swobodnie przewodzić ogień elektryczny, można spostrzec, że wypływa on obficie z klucza przy zbliżeniu palca; od tego klucza można nabić butelkę lejdejską, a zebranym w ten sposób ogniem można zapalać ciecze spirytualne i wykonywać z nim wszystkie inne doświadczenia fizyczne, jakie zwykle robi się przy pomocy pocierania kuli lub rury szklanej; w ten sposób dowodzi się zupełnej tożsamości materji elektrycznej i materji piorunowej.

## LIST LIX.

**(Opis piorunochronu) [1].**

...Materja burzowa czyli elektryczna jest to płyn nadzwyczaj subtelny, który przenika inne ciała i rozmieszcza się w nich równomiernie.

Jeżeli się zdarzy, że wskutek procesu naturalnego lub sztucznie wywołanego płyn ten znajdzie się w jednem ciele w ilości większej, niż w drugiem, to ciało zawierające go więcej, udziela go temu, które go zawiera mniej...

Jeśli wyrównanie owego płynu zachodzi przez przewodnik, to może się ono odbywać bez światła i głosu, gdyż subtelny płyn przepływa przez materję przewodnika.

Jeśli przewodnik jest dobry i dość wielki, elektryczność przechodzi przezeń bez szkody dla niego; jeśli nie, to uszkadza go lub nawet niszczy.

Wszystkie metale oraz woda są dobremi przewodnikami. Inne ciała, jak drzewo i pozostałe materjały, używane do budowli, o ile zawierają pewną ilość wody, mogą przewodzić elektryczność. Jesli jednak zawierają wody niewiele, to nie są dobremi przewodnikami i dlatego doznają często uszkodzeń przy rozbrojeniu.

Szkło, wosk, jedwab, wełna, włosie, pióra i zupełnie suche drzewo są nieprzewodnikami, t. j. sprzeciwiają się przejściu elektryczności, zamiast je ułatwić. Kiedy płyn ten ma do wyboru dwa przewodniki: jeden dobry, jak np. metal, a drugi mniej dobry, to przechodzi do lepszego i idzie za nim we wszelkim kierunku.

Odległość, przy jakiej występuje gwałtowne rozbrojenie ciała nabitego elektrycznością, która przeskakuje przytem na inne ciało, nabite mniej lub wcale, jest różna, zależnie od ilości elektryczności, wielkości i kształtu ciał, a również i od własności znajdującego się pomiędzy ciałami powietrza. Ten odstęp nazywa się dalekością bicia iskry. Rozbrajanie następuje dopiero wtedy, gdy ciała znajdują się w obrębie odległości bicia iskry.

Chmury zawierają często więcej elektryczności, niż ziemia. W tym wypadku płyn ten opuszcza chmury i uderza w ziemię, gdy tylko chmury znajdują się dość blisko niej, czyli gdy dojdą na odległość

---

[1]) Tłumaczono z książki „Aus der Werkstatt grosser Forscher" F. Dannemann'a. Wyd. III. Lipsk 1908 r.

bicia iskry, lub też gdy napotkają jaki przewodnik. Jeśli chmura, silnie nabita elektrycznością, zbyt jest wysoko, aby się znaleźć w odległości bicia iskry, to przeciąga spokojnie bez zjawisk świetlnych i głosowych; chyba, że napotka inną chmurę, mniej od niej nabitą.

Duże drzewa i wysokie budowle, jak zamki i wieże kościelne, stają się czasem przewodnikami pomiędzy chmurami i ziemią; ale przytem doznają często uszkodzeń, gdyż nie są dobrymi przewodnikami, t. j. nie przepuszczają elektryczności bez przeszkód.

Budowle, posiadające dachy, pokryte ołowiem lub innymi metalami, albo zaopatrzone w metalowe rynny, sięgające, w celu odprowadzenia wody, od dachu aż do ziemi, nie doznają nigdy szkody od piorunu, gdyż ten, napotykając podobny budynek, uderza w metal, a nie w mury.

Jeśli inne budynki znajdują się w odległości bicia iskry z takich chmur, to elektryczność przechodzi w ściany, bądź to drewniane, bądź ceglane lub kamienne, i nie opuszcza ich, dopóki nie napotka w bliskości lepszych przewodników, jak pręty metalowe, rygle, zawiasy u drzwi i okien, ramy złocone, rtęć pokrywającą z tyłu zwierciadła, druty od dzwonków, lub żywe istoty; ostatnie są przewodnikami, gdyż zawierają wodniste ciecze. W drodze swojej poprzez dom elektryczność trzyma się kierunku tych przewodników i korzysta z tych wszystkich, które ułatwiają jej przejście, czy to w linji prostej, czy krzywej. Gdy odległość nie jest zbyt wielka, elektryczność przeskakuje z jednego przewodnika na drugi i uszkadza ściany tam tylko, gdzie dobre przewodniki są zbyt od siebie oddalone. Jeśli nazewnątrz domu ustawić pręt żelazny, sięgający czy to w linji prostej, czy wygiętej od najwyższej części bez przerwy aż do wilgotnych warstw ziemi, to pręt ten pochwyci piorun swą częścią górną, przyciągając go tak, że go powstrzyma od uderzenia w inne części i da mu dobrą drogę aż do ziemi. W ten sposób unika się uszkodzenia jakiejkolwiek części budynku. Znaleziono, że mała ilość metalu jest w stanie przewodzić wielkie ilości elektryczności. Drut żelazny, nie grubszy od pióra gęsiego, mógł odprowadzić ilość elektryczności, która na obu jego końcach wyrządziła okropne spustoszenie. Grubsze pręty nie są prawdopodobnie potrzebne, choć w Ameryce robią je zwykle grube na pół, trzy czwarte lub nawet cały cal.

Pręt musi być przytwierdzony do muru, komina i t. d. zapomocą klamer żelaznych. Piorun nie opuści pręta, który jest dobrym przewodnikiem, aby po klamrach przejść do muru, który źle przewodzi elektryczność. Płyn ten, gdyby się go trochę znalazło w murze, prze-

szedłby raczej do pręta, aby po tym dobrym przewodniku łatwiej dostać się do ziemi.

Gdy budowla jest bardzo duża, można dla większej pewności wznieść dwa lub więcej prętów w rozmaitych miejscach.

Dolny koniec pręta musi być wpuszczony do ziemi tak głęboko, aby mógł dosięgnąć części wilgotnych. Jeśli wtedy pręt zgiąć, poprowadzić go poziomo na odległość sześciu do ośmiu stóp od muru i zapuścić go znów na trzy lub cztery stopy wgłąb, to ochroni on od uszkodzenia kamienie fundamentu.

---

**Dalszy rozwój teorji fluidów.**

Teorja Franklin'a nie łatwo znajdowała posłuch u współczesnych mu fizyków; wynikająca z niej konsekwencja, że dwa ciała materjalne, pozbawione elektryczności, powinny się nawzajem odpychać, odstręczała umysły. Ale teorja zawierała rdzeń zdrowy i płodny: pojęcie substancji, której ilość, doprowadzona lub odprowadzona od ciała, stanowi o stopniu jego naelektryzowania, tworzy to, co dziś nazywamy *nabojem* albo *ładunkiem* elektrycznym.

Teorji fluidu nadał postać łatwiejszą do przyjęcia angielski fizyk Symmer († 1763), który powiązał poglądy Franklina z twierdzeniem Dufay'a o dwóch rodzajach elektryczności, i wprowadził teorję t. zw. dualistyczną dwóch płynów elektrycznych, dodatniego i ujemnego; ciała obojętne zawierają równe ilości obu płynów, przewaga jednego z nich stanowi o naelektryzowaniu ciała odpowiednim znakiem.

Teorje Franklina i Symmera są formalnie równoważne; czy płyn elektryczny jednego znaku, odpływając z ciała obojętnego, pozostawia nadmiar płynu przeciwnego znaku, czy też odpowiednią ilość niezobojętnionej materji, to nie zmienia toku naszych rozumowań i obliczeń; żaden fakt doświadczalny nie rozstrzyga na korzyść jednej lub drugiej koncepcji, dopóki obserwujemy naboje elektryczne w związku nierozerwalnym z materją. Dopiero obserwacja nabojów swobodnych (ob. dział Jony i Elektrony) mogła rozstrzygnąć na korzyść teorji Franklin'a, tłomacząc naelektryzowanie nadmiarem wzgl. niedoborem ujemnych elektronów; tylko znak musiał zostać zmieniony: nadmiar „elektryczności" wywołuje naelektryzowanie ujemne.

Zanim te rozstrzygające fakty zostały poznane, teorja dualistycz-

na cieszyła się większem wzięciem od unitarystycznej, gdyż pozwalała na większą prostotę i dogodność w formułowaniu praw.

Teorja płynów elektrycznych nie mogła pozostać bez wpływu na teorje magnetyzmu: mimo wyraźnych różnic obie dziedziny zjawisk przedstawiają tyle wzajemnego podobieństwa, że zawsze starano się je tłumaczyć podobnemi przyczynami.

AEPINUS (1724—1809), profesor fizyki w Petersburgu i Berlinie, przeniósł poglądy Franklin'a na dziedzinę magnetyzmu, utrzymując, że biegun północny zawiera nadmiar, południowy — niedobór fluidu magnetycznego. Symmer zmodyfikował tę teorję, wprowadzając hipotezę dwóch płynów magnetycznych. Dalej rozwinął teorję Coulomb na podstawie koncepcji magnesów elementarnych (ob. str. 31).

---

Wyobrażenie pewnych substancyj, które, nagromadzone na ciałach, wywierają na siebie siły, nawet gdy są oddalone, „agunt in distans", musiało nasuwać analogję z siłami grawitacyjnemi, rządzonemi według praw Newtona, już wówczas stanowiących podstawę mechaniki nieba (ob. Mechanika, rozdz. III); ta analogja nasuwała z kolei pytanie, czy i tu nie zachodzą zależności podobne, jak w prawie grawitacji.

Tę hipotezę wypowiadało wielu badaczów (Bernoulli, Priestley, Cavendish i inni), lecz dopiero Coulomb stwierdził jej słuszność zapomocą starannych, wzorowo przeprowadzonych pomiarów.

---

## KAROL AUGUST COULOMB.

*(1736 — 1806).*

Coulomb odebrał wykształcenie techniczne; był początkowo inżynierem wojskowym i w tym charakterze przebył 3 lata na Martynice przy budowie fortyfikacyj. Zajmowała go już wówczas naukowa strona prac inżynieryjskich, jak to widać z tytułów dwóch jego obszernych rozpraw, wydanych po powrocie do Francji: „Zagadnienia statyki w zastosowaniu do budownictwa" i „Teorja machin prostych, obejmująca zjawiska tarcia i sztywności lin". Ta druga praca stanowi już przejście do badań ściśle fizycznych, które zajęły

mu dalsze lata życia; były to pierwsze dokładne prace nad tarciem, które do tego czasu mechanicy traktowali jako zjawisko zakłócające, nie dające się ująć ilościowo. Coulomb stwierdził proporcjonalność tarcia dwóch ciał do ciśnienia całkowitego, a niezależność od wielkości powierzchni tarcia i od szybkości; ostatniego wniosku nie potwierdziły dalsze badania. Badał też lepkość cieczy oraz siłę skręcenia drutu metalowego, obserwując wahania zawieszonego na nim krążka. Stwierdzenie proporcjonalności pomiędzy siłą sprężystą a kątem obrotu nasunęło mu myśl zbudowania na tej zasadzie bardzo czułej wagi dla mierzenia drobnych sił. Ta t. zw. waga Coulomba posłużyła mu następnie do jego kapitalnego odkrycia. Dokładność bezpośrednich pomiarów, zarówno Coulomb'a, jak i wielu jego następców jest zbyt mała, gdy chodzi o sprawę tak pierwszorzędnej wagi; to też najściślejszy dowód prawa odwrotnych kwadratów jest pośredni i opiera się na konsekwencji, którą już Coulomb ze swego prawa wyprowadził; mianowicie, jeśli przyjmiemy prawo to za słuszne, to elektryczność będzie mogła utrzymać się w przewodniku tylko na jego powierzchni. Coulomb sprawdził ten wniosek doświadczalnie; przed nim jednak dokonał tego samego fizyk i chemik angielski Henry Cavendish (1731—1810). Badania tego uczonego, który pracował tylko dla siebie i prac swoich nie ogłaszał, stały się znane dopiero po wydaniu jego pism przez Maxwell'a. Cavendish dowiódł (1772), że odwrotnie, fakt pozostawania naboju na powierzchni przewodnika prowadzi do prawa Coulomb'a i wyliczył na podstawie swoich doświadczeń, że, jeśli siła zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do $r^{2+q}$, to $q$ nie może być większe od 0,02. Inny ważny i ściśle sprawdzony wniosek z prawa Coulomb'a głosi, że równomiernie naelektryzowana kula działa na nabój umieszczony zewnątrz niej tak, jak gdyby cały nabój kuli był skupiony w jej środku geometrycznym. Coulomb posiłkuje się tą zależnością w swej drugiej rozprawie o elektryczności (ob. str. 39). W tej rozprawie zastosował metodę wahań do porównywania sił.

Zasługi Coulomb'a w dziedzinie magnetyzmu polegają nietylko na odkrycie prawa odwrotnych kwadratów w zastosowaniu do biegunów magnetycznych, ale i na wprowadzeniu hipotezy magnesów elementarnych; magnesy te miały zawierać pomieszane równe ilości fluidu magnetyzmu północnego i południowego — na podobieństwo płynów elektrycznych dodatniego i ujemnego. Pod wpływem zewnętrznego magnesu płyny rozdzielają się, magnesując dotychczas obojętne cząstki elementarne.

Teorję Coulomb'a rozwinął irlandzki chemik Kirwan († 1812), który wyprowadził hipotezę gotowych już magnesów elementarnych; w żelazie obojętnem układają się one w linje zamknięte, a pod wpływem magnesu skierowują się zgodnie z kierunkiem jego działania. Ociąganie się, z jakiem żelazo zdąża za zmianami pola, a które Coulomb nazwał koercją, polega, według jego poglądów, na oporze, stawianym przepływowi fluidów wewnątrz magnesów elementarnych; według teorji Kirwana — na oporze, na jaki napotykają ruchy obrotowe cząsteczek. Ta teorja zbliża się do współczesnych poglądów na zjawiska ferromagnetyczne.

Coulomb został w r. 1782 członkiem Akademji; był też jednym z pierwszych członków założonego przez rząd republikański Instytutu (Institut de France)[1]. O sile jego charakteru świadczy następujący fakt: gdy w Bretanji planowano przeprowadzenie całej sieci kanałów, Coulomb został wysłany jako komisarz królewski dla zbadania tej sprawy; plany wywołały z jego strony ostrą krytykę, która pociągnęła za sobą uwięzienie go przez władze miejscowe; to jednak ani na jotę nie zmieniło jego opinji, a stanowczością swoją i wytrwałością wywalczył posłuch dla swego zdania.

Tłumaczenie nasze zawiera wyjątki z dwóch pierwszych z ogólnej liczby siedmiu rozpraw o elektryczności i magnetyzmie, przedstawionych przez Coulomb'a Akademji.

## Rozprawa pierwsza o elektryczności i magnetyzmie.

**Budowa i zastosowanie wagi elektrycznej, opartej na tej właściwości drutów, że ich siła skręcenia jest proporcjonalna do kąta skręcenia[2]).**

Określenie doświadczalne prawa, według którego odpychają się wzajemnie elementy ciał naelektryzowanych jednakowo.

W rozprawie, przedstawionej Akademji w r. 1784, określiłem na podstawie doświadczeń prawa, rządzące siłą skręcenia drutu i znala-

---

[1]) Instytut Narodowy, później nazwany Instytutem Francuskim, został stworzony przez Konwent w roku 1795, w celu zastąpienia wszystkich akademij, założonych za panowania królów francuskich; podzielono go na trzy sekcje, których liczbę pomnożono do pięciu; za panowania Ludwika XVIII sekcjom przyznano tytuły Akademij; obecnie Instytut obejmuje wszystkie pięć istniejących we Francji Akademij.

[2]) Histoire et Mémoires de l'Academie royale des sciences 1785. Przekład z tłomaczenia niemieckiego Königa w Ostwald's Klassiker Nr. 13.

złem, że siła ta była w stosunku prostym do kąta skręcenia i do czwartej potęgi średnicy drutu, a w stosunku odwrotnym do jego długości; przytem należało to wszystko pomnożyć przez stały spółczynnik, zależny od natury metalu i dający się łatwo wyznaczyć doświadczalnie.

W tej samej rozprawie wykazałem, że przy pomocy tej siły skręcenia można było mierzyć bardzo drobne siły z dokładnością np. do jednej dziesięciotysiącznej grana [gran = 0,0531 gr.].

Dziś przedstawiam Akademji wagę elektryczną, zbudowaną na tych samych zasadach; mierzy ona z największą dokładnością stan elektryczny i siłę elektryczną ciała, choćby stopień naelektryzowania był dowolnie mały.

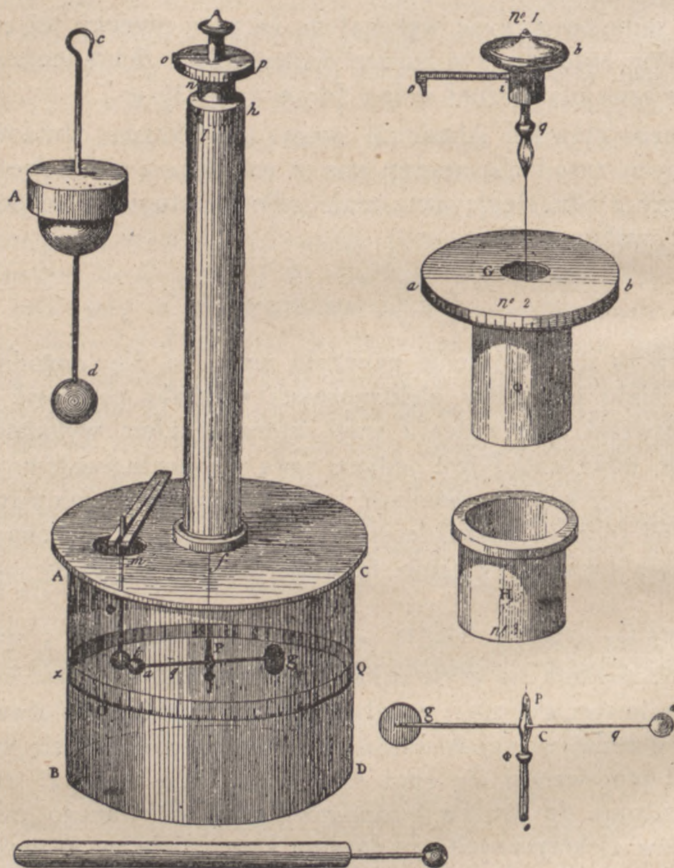
## Budowa wagi.

Jakkolwiek doświadczenie nauczyło mnie, że dla dogodnego wykonania wielu pomiarów elektrycznych należało poprawić niektóre braki pierwszej tego rodzaju wagi, którą kazałem wykonać, opiszę ją jednak, gdyż dotąd jest jedyną, jaką się posługiwałem; zauważę wszakże, że jej kształt i wielkość mogą i muszą być zmieniane, w zależności od rodzaju doświadczeń, które zamierzamy wykonać. Rys. 9 przedstawia perspektywicznie tę wagę, której szczegóły są następujące.

Na cylinder szklany ABCD, o 12 calach[1]) średnicy i 12 calach wysokości, nakłada się płytę szklaną o 13 calach średnicy, która całkowicie zakrywa cylinder; w płycie tej są wywiercone dwa otwory o średnicy mniej więcej 20 linij; jeden z nich znajduje się w środku, w *f*; nad nim wznosi się rura szklana 24 cale wysoka; rura jest przytwierdzona do otworu *f* zapomocą kitu, używanego zwykle do przyrządów elektrycznych; na górnym końcu rury, w *h*, umieszczono mikrometr do mierzenia skręceń, którego szczegóły pokazuje rys. 9. Górna część jego, Nr. 1, posiada główkę *b*, wskazówkę *io* i zacisk *q* do zawieszania drutu; ta cała część wsuwa się do otworu *G* części Nr. 2; ta składa się z krążka *ab*, którego obwód jest podzielony na 360°, i z rurki miedzianej Φ, którą się wsuwa do rurki *H*, Nr. 3; ta rurka jest umocowana zapomocą kitu wewnątrz górnego końca rury szklanej *fh* na fig. 1. Zacisk *q* (rys. 9, Nr. 1) ma kształt zakończenia dużego grafjonu; można go zaciskać zapomocą pierścienia *q*. W szczyp-

[1]) 1 cal = 12 linij = 32,48 cm.

cach tego grafjonu jest zaciśnięty koniec bardzo cienkiego drutu srebrnego; drugi koniec tego drutu tkwi w zacisku walca miedzianego lub żelaznego *Po*, o średnicy wynoszącej zaledwie jednę linję, którego koniec *P* jest rozszczepiony, tworząc szczypce, zaciskane zapo-




Rys. 9.
Waga skręceń Coulomb'a.

mocą przesuwango pierścienia Φ. Ten mały walec posiada w *C* zgrubienie z otworem, przez który przesuwa się igłę *ag*; ciężar walca musi być tak duży, aby napiąć srebrny drut, ale go nie rozerwać. Igła *ag*, którą widać na rys. 9, zawieszona poziomo mniej więcej w połowie wysokości dużego otaczającego ją naczynia, składa się z nitki jedwabnej, pociągniętej lakiem, albo ze źdźbła słomy, rów-

nież lakiem pociągniętego, przedłużonego od *C* do *a* zapomocą walca z szellaku długości 18 linij: na końcu *a* tej igły znajduje się kulka z rdzenia bzowego o średnicy 2 do 3 linij, na końcu *g* — mały, pionowo umieszczony krążek z papieru, nasyconego terpentyną, który przeciwważy kulkę *a* i tłumi wahania igły.

Powiedzieliśmy, że pokrywa *AC* posiada drugi otwór w *m*; przez ten drugi otwór wprowadza się mały walec *mΦt*, którego dolna część *Φt* jest zrobiona z szellaku; w *t* znajduje się również kulka z rdzenia bzowego; wkoło naczynia, na wysokości igły, jest umieszczone koło *zOQ*, podzielone na 360 stopni; dla większej prostoty posługuję się paskiem papierowym, podzielonym na $360^0$, którym oklejam naczynie dokoła, na wysokości igły.

W celu przygotowania wagi do użytku ustawia się otwór *m* ponad początkiem skali walca, na tę samą podziałkę nastawia się kulkę *a*; wskazówka *oi* powinna przytem stać na zerze podziałki mikrometru; przez otwór *m* wsuwa się drugą kulkę na drucie *mΦt*, tak, aby się stykała z kulką *a* i przypadała na początek skali walca.

### Zasadnicze prawo elektryczności.

*Siła odpychania dwóch małych kul, naelektryzowanych jednakowo, jest w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości środków obu kul.*

Doświadczenie.

Elektryzuje się mały przewodnik, zrobiony poprostu ze szpilki o dużym łebku, izolowanej w ten sposób, że ostrze jej jest wbite w koniec laski laku; tę szpilkę wprowadza się przez otwór *m* i dotyka kulki *t*, która ze swej strony pozostaje w zetknięciu z kulką *a*; po usunięciu szpilki obie kulki posiadają jednakowe naboje elektryczne i odpychają się nawzajem, póki się nie oddalą na odległość, którą mierzymy, celując poprzez drut zawieszenia i środek kulki *a* w odpowiadającą im podziałkę koła *zOQ*; następnie, obracając wskazówkę mikrometru w kierunku *pno*, skręcamy drut *qP* i wywołujemy siłę, proporcjonalną do kąta skręcenia, dążącą do zbliżenia kulki *a* do kulki *t*. W ten sposób obserwuje się odległości, na jakie różne kąty skręcenia zbliżają kulkę *a* do kulki *t*, a porównywując siły skręcenia z odpowiadającemi im odległościami obu kulek, otrzymujemy prawo odpychania.

Przytoczę tu tylko parę łatwych do powtórzenia doświadczeń, które niezwłocznie wykazują prawo odpychania.

Doświadczenie pierwsze: Po naelektryzowaniu obu kulek zapomocą łebka szpilki, kulka *a* igły oddaliła się od kulki *t* o 36°, a wskazówka mikrometru stała na zerze.

Doświadczenie drugie: Po skręceniu drutu zawieszenia o 126° zapomocą mikrometru, kulki zbliżyły się do siebie tak, że w końcu były oddalone od siebie o 18°.

Doświadczenie trzecie: Po skręceniu drutu zawieszenia o 567°, kulki zbliżyły się na odległość $8^1/_2$°.

### Objaśnienie i wyniki tych doświadczeń.

Dopóki kulki nie są jeszcze naelektryzowane, stykają się z sobą, a środek kulki *a*, umocowanej na igle, jest oddalony zaledwie o pół średnicy obu kulek od tego punktu, w którym skręcenie drutu zawieszenia jest równe zeru. Należy zaznaczyć, że srebrny drut *lP*, służący do zawieszania, miał 28 cali długości, a był tak cienki, że stopa jego ważyła tylko $^1/_{16}$ grana... Przekonałem się, że siła $^1/_{340}$ grana, działając na ramię dźwigni *aP* o długości 4 cali, wystarcza do skręcenia tego drutu o 360°.

Przy pierwszem z naszych doświadczeń, kiedy wskazówka mikrometru stoi na punkcie 0, widzieliśmy, że kulki są oddalone o 36°... przy drugiem doświadczeniu odległość kulek wynosi 18°, a że mikrometr został jednocześnie obrócony o 126°, więc wynika stąd, że przy odległości 18° siła odpychania wynosiła 144°; zatem przy połowie pierwotnej odległości odpychanie jest cztery razy większe.

Przy trzeciem doświadczeniu drut zawieszenia skręcono o 567° a kulki znajdowały się już tylko w odległości $8^1/_2$°. Całkowite skręcenie wynosiło wynosiło zatem 576°, cztery razy węcej, niż przy drugiem doświadczeniu; do tego zaś, aby odległość kulek w drugiem doświadczeniu została w trzeciem sprowadzona do połowy, brakło tylko pół stopnia. Wynika więc z tych trzech doświadczeń, że działanie odpychające, wywierane wzajemnie przez dwie kulki naelektryzowane jednakowo, jest w stosunku odwrotnym do kwadratów odległości...

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

### Uwaga druga.

Elektryczność obu kulek zmniejsza się nieco w czasie trwania doświadczenia; przekonałem się, że w dniu, w którym wykonałem przytoczone doświadczenia, naelektryzowane kulki, znajdując się pod wpływem odpychania w odległości 30° od siebie, zbliżały się o jeden

stopień co trzy minuty przy kącie skręcenia, wynoszącym 50°; ponieważ zaś potrzebowałem tylko dwóch minut na wykonanie powyższych doświadczeń, przeto błąd, pochodzący ze straty elektryczności, można tutaj zaniedbać...

U w a g a  t r z e c i a.

Odległość kulek, oddalonych od siebie wskutek wzajemnego odpychania, mierzy się ściśle nie kątem, jaki tworzą, lecz cięciwą łuku, łączącego ich środki; również i ramię dźwigni, do końca którego przyłożona jest siła, mierzy się nie połową długości igły lub promieniem, lecz dostawą połowy kąta pomiędzy obu kulkami; jedna z tych wielkości jest mniejszą, niż łuk, i przez to zmniejsza odległość, mierzoną łukiem, podczas gdy druga zmniejsza ramię dźwigni; obie więc wyrównywują się w pewnej mierze i przy tego rodzaju doświadczeniach, jak te, co nas zajmują, można się zadowolić bez wielkiego błędu podanem przez nas obliczeniem, o ile odległość kulek nie przekracza 25° do 30°: w przeciwnym razie należy obliczenie przeprowadzić ściśle...

Uwagi pierwsza i czwarta dotyczą drobnych ulepszeń wagi oraz trudności odczytania położenia igły wskutek jej wielkiej ruchliwości.

### Rozprawa druga o elektryczności i magnetyzmie,

*w której zostają wykryte prawa, rządzące działaniem tak odpychającem, jak i przyciągającem płynów magnetycznych i elektrycznych.*

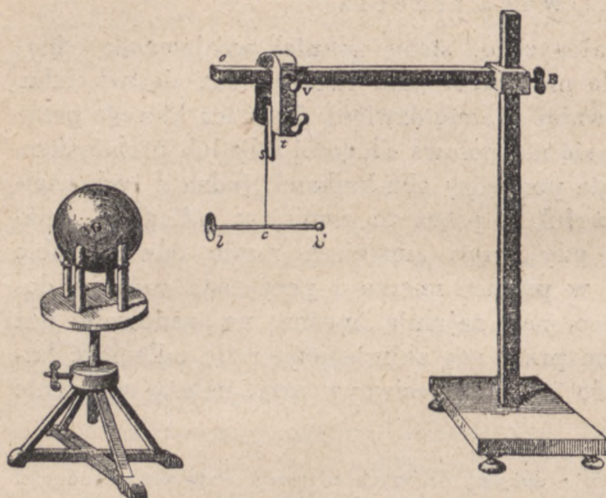
Metoda wagi skręceń nie daje się stosować przy pomiarach przyciągania elektrycznego, ponieważ trudno zapobiec zetknięciu się kulek naelektryzowanych.

Druga metoda... polega na tem, że zawiesza się poziomo igłę, naelektryzowaną tylko na końcu; jest ona przyciągana przez kulę przeciwnie naelektryzowaną, ustawioną w pewnem od niej oddaleniu, i waha się pod wpływem tego przyciągania; z liczby wahań, wykonanych w określonym czasie, oblicza się siłę przyciągającą w różnych odległościach, podobnie jak się określa siłę ciężkości z wahań zwykłego wahadła.

Nitka z kokonu jedwabnego ma tak małą siłę skręcenia, że jej wpływ na wahania może być zaniedbany nawet przy drobnych siłach działających.

Na nitce jedwabnej *sc* (rys. 10) z pojedyńczego włókna, jakie się otrzymuje przy rozwijaniu kokonu, zawiesza się igłę szellakową *lg;*

na końcu *l* umieszcza się, prostopadle do igły, lekki krążek o średnicy 8 do 10 linij, wycięty z arkusza złotego papieru; nitka jedwabna jest przymocowana w *s* do dolnego końca pręta drewnianego *st*, wysuszonego w piecu i pokrytego szellakiem; pręt ten jest trzymany w *t* przez zacisk, który można przesuwać wzdłuż ramienia *oE* i przytwierdzać w dowolnem miejscu zapomocą śruby *V*; *G* jest kulą miedzianą lub tekturową, pokrytą cynfolją; spoczywa ona na czterech słupkach szklanych, pokrytych lakiem i zakończonych, w celu lepszej izolacji, prętami z laku 3 do 4 cali długości... Po przygotowaniu wszystkiego w opisany sposób, kulę *G* ustawia się tak, aby jej średnica *Gr* była na tej samej wysokości, co i środek krążka *l*, oddalonego od niej o parę cali. Zapomocą butelki lejdejskiej przepuszcza się iskrę elektryczną na kulę i dotyka się krążka *l* ciałem przewodzącem; działanie naelektryzowanej kuli na płyn elektryczny nienaelektryzowanego krążka udziela krążkowi naboju przeciwnego, niż nabój kuli; tak, że po usunięciu przewodnika kula i krążek działają na siebie przyciągająco.



Rys. 10.
Pomiar przyciągania elektrycznego.

D o ś w i a d c z e n i e.

Kula *G* miała stopę w średnicy, krążek *l* miał 7 linij, igła szellakowa *lg* 15 linij długości; nitka zawieszeń *sc* była nitką jedwabną o długości 8 linij; gdy zacisk znajdował się w punkcie *o*, krążek *l* dotykał kuli w *r*, a w miarę odsuwania zacisku ku *E* krążek oddalał się o długości równe 0, 3, 6, 9, 12 calom; gdy kula była nabita w sposób przytoczony elektrycznością t. zw. dodatnią, a krążek ujemną, otrzymano:

*Doświadczenie 1.* Krążek *l* w odległości 3 cali od powierzchni kuli, czyli 9 cali od jej środka wykonywał 15 wahnięć w . . 20″

*Doświadczenie 2.* Krążek *l* w odległości 18 cali od środka kuli, wykonywał 15 wahnięć w . . . . . . . . . . . . 41″

*Doświadczenie 3.* Krążek *l* w odległości 24 cali od środka kuli, wykonywał 15 wahnięć w . . . . . . . . . . . . 60″

Objaśnienie i wyniki tych doświadczeń.

Jeśli wszystkie punkty powierzchni kulistej działają na punkt, położony w dowolnej odległości od powierzchni, z siłą przyciągania lub odpychania, odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości, to, jak wiadomo, działanie jest takie same, jakgdyby cała powierzchnia kuli była skupiona w środku kuli...

Możemy przyjąć, że całe działanie krążka skupia się w jego środku, podobnie jak działanie kuli; więc przy małych wahaniach igły działanie, podtrzymujące te wahania, będzie wielkością stałą przy danej odległości i będzie działało w kierunku, łączącym oba środki. Jeśli teraz oznaczymy siłę przez $\varphi$, a czas określonej liczby wahań przez $T$, to $T$ będzie odwrotnie proporcjonalne do $\sqrt{\varphi}$: ale jeśli $d$ jest odległością *Gl* środka kuli od środka krążka i jeśli siły przyciągające są proporcjonalne do odwrotności kwadratu odległości, czyli do $1/d^2$, to wynika stąd, że $T$ będzie proporcjonalne do $d$ [1]), czyli do odległości, więc, jeśli w doświadczeniach naszych będziemy zmieniali odległość, to czasy jednej i tej samej liczby wahań powinny tak się mieć do siebie, jak odległości środka kuli od środka krążka. Porównajmy tę teorję z doświadczeniem:

*Doświadczenie 1.* Odległość środków 9 cali, 15 wahań w 20″
*Doświadczenie 2.* Odległość środków 18 cali, 15 wahań w 41″
*Doświadczenie 3.* Odległość środków 24 cale, 15 wahań w 60″

Odległości mają się do siebie jak liczby . . 3, 6, 8.
Czasy tej samej liczby wahań . . . . . 20, 41, 60.
Według teorji powinno być . . . . . . 20, 40, 54.

Małe odchylenie w ostatnim pomiarze jest spowodowane stratą naboju podczas doświadczenia. Obliczona poprawka zmniejsza błąd, dając liczbę 57 zamiast 54.

---

[1]) Wynika to ze wzoru na wahadło: $T \sim \frac{1}{\sqrt{\varphi}}$; z prawa Coulomb'a $\varphi \sim \frac{1}{d^2}$; zatem $T \sim d$.

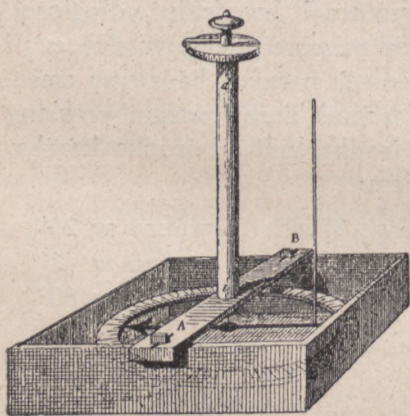
Doszliśmy więc zapomocą metody zupełnie odmiennej od pierwszej do wyników zgodnych z pierwotnymi; możemy więc wyprowadzić stąd wniosek, że przyciąganie wzajemne płynu elektrycznego, oznaczonego jako dodatni, oraz płynu, t. zw. ujemnego, jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości...

### Doświadczenia, służące do określenia prawa, według którego płyn magnetyczny działa przyciągająco lub odpychająco.

Ponieważ ciała namagnesowane działają na siebie w skończonych odległościach przyciągająco lub odpychająco, tak jak ciała naelektryzowane, więc wydaje się, że płyn magnetyczny jest analogiczny do płynu elektrycznego, jeśli nie co do swej natury, to przynajmniej pod wymienionym względem; a zgodnie z tą analogją można przypuścić zgóry, że oba płyny działają według tych samych praw...

### Opis wagi magnetycznej.

Kazałem sporządzić skrzynkę kwadratową o długości krawędzi równej 3 stopom, a wysoką na 18 cali (rys. 11); deski były łączone tylko zapomocą czopów, wrębów i kołeczków drewnianych. O 9 cali nad dnem umieszczono poziomy krąg z bardzo suchego drzewa lub z miedzi, o średnicy 2 stóp 10 cali, podzielony jak zwykle na 360°. Na tę skrzynkę nałożono poprzeczkę *AB*, od której środka wznosi się rura *id*, długości 30 cali, zakończona w *d* mikrometrem, podobnym do opisanego przy wadze elektrycznej. Zacisk mikrometru utrzymuje koniec drutu mosiężnego... Dolny koniec tego drutu przytrzymuje pierścień ołowiany lub miedziany; ten pierścień przeznaczony jest do umieszczenia w nim igły magnetycznej, z którą zamierza się wykonać doświadczenia...



Rys. 11.
Waga magnetyczna.

Namagnesowano drut z dobrej stali, długości 24 cali o przekroju $1^1/_2$ linij i zawieszono go poziomo w naszej wadze; najpierw wyzna-

czono, z jaką siłą magnetyzm ziemski utrzymuje tę igłę w południku, i znaleziono, że potrzeba siły skręcenia prawie o 35°, aby igłę wyprowadzić o 1° z jej południka magnetycznego. Następnie ustawiono drugi drut takich samych rozmiarów pionowo w płaszczyźnie południka w odległości 11 cali 2 linij od środka zawieszenia pierwszej igły, umieszczając koniec drutu mniej więcej o cal poniżej poziomu igły wiszącej...

Doświadczenie.

*Doświadczenie pierwsze.* Igła, wisząca poziomo bez skręcenia drutu zawieszenia, została odepchnięta i ustawiła się o 24° od południka magnetycznego.

*Doświadczenie drugie.* Po skręceniu (drutu) o trzy obroty, igła ustawiła się o 17° od południka magnetycznego.

*Doświadczenie trzecie.* Po skręceniu o osiem obrotów, igła ustawiła się o 12° od swego południka magnetycznego.

Objaśnienie i wyniki tego doświadczenia.

...W pierwszem doświadczeniu igła, wychylona o 24°, była pociągana ku swemu południkowi z siłą 840° [t. j. $24 \times 35$]; ponieważ jednak, wskutek odpychania igieł, drut zawieszeń był skręcony o 24°, więc całkowite odpychanie wynosiło 864°.

Przy drugiem doświadczeniu igła ustawiła się o 17° od południka magnetycznego; była więc pociągana przez działanie magnetyzmu ziemskiego ku temu południkowi z siłą 595° [t. j. $17 \times 35$]. Ale skręcenie, które je utrzymywało w tej odległości, wynosiło 3 obroty + 17°; ponieważ ta siła skręcenia działa w tym samym kierunku, co i siła magnetyzmu ziemskiego, więc działanie obu biegunów igieł mierzy się liczbą 1692°...

Tak samo oblicza się dla trzeciego doświadczenia siłę odpychania równą: $2880^0 + 12^0 + 12 \times 35^0 = 3312^0$.

Zatem w doświadczeniach naszych, w których odległości były 24, 17, 11, odwrotności kwadratów odległości są dane przez liczby $\frac{1}{576}$, $\frac{1}{289}$, $\frac{1}{144}$, których stosunek jest bliski stosunku liczb $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1. Ale dla odpowiednich sił odpychających doświadczenie dało 864, 1692, 3312, które też są w stosunku bliskim liczb $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1. Jeśli przypuścimy, że cały płyn magnetyczny jest skupiony w odległości 10 linij

od końca naszej 24-calowej igły, to wynika, że siła odpychająca płynu magnetycznego jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości...

Wpływ biegunów przeciwnych może być zaniedbany wobec znacznej długości igieł.

---

Rozprawy Coulomb'a są pierwszemi próbami ścisłych pomiarów elektrycznych i magnetycznych; są też doskonałym wzorem pracy doświadczalnej; każde przypuszczenie, służące za podstawę do wyprowadzania wniosków, jest sprawdzone doświadczeniem; wszelkie możliwe źródła błędu są wzięte pod uwagę; czyni to styl autora ciężkim i rozwlekłym, ale podnosi wartość naukową pracy.

Waga skręceń, pomyślana przez Coulomb'a, była potem, dzięki swej wielkiej czułości, niejednokrotnie używana do mierzenia bardzo małych sił. W r. 1798 Cavendish zastosował ją do mierzenia przyciągania dwóch mas materjalnych (ob. tom I str. 110); w roku 1896 Eötvös nadał jej wielką czułość przy badaniach swych nad lokalnemi zmianami przyśpieszenia ziemskiego; w r. 1901 Lebiediew użył jej do zmierzenia ciśnienia światła; waga Lebiediewa mogła wykazać siły, nie przekraczające jednej miljonowej dyny (ob. rozdział o ciśnieniu światła).

Prawa Coulomb'a umożliwiły zbudowanie na nich całej elektrostatyki, równie przejrzystej, jak mechanika Newtona. Ale odkrycie wpływu ośrodka na wzajemne działania nabojów elektrycznych, wskazało możliwość odmiennej interpretacji sił elektrycznych. Obu wielkich dzieł, zarówno odkrycia wymienionego wpływu, jak i przewrotu w pojęciach na naturę zjawisk elektrycznych dokonał Michał Faraday.

---

## Rozdział V.

# PRĄDY GALWANICZNE.

### Odkrycie prądów galwanicznych.

Z NAZWISKAMI dwóch włoskich uczonych Galvani'ego i Volty wiąże się jedno z najdonioślejszych odkryć naukowych: stwierdzenie istnienia prądów elektrycznych i zbadanie warunków, w których mogą być wzbudzone. Wyjątki z pism tych badaczy najlepiej zobrazują historję tego odkrycia.

### LUDWIK ALOIZY GALVANI.

*(1737 — 1798).*

Urodz. 9 września 1737 r. w Bolonji, po ukończeniu studjów medycznych pracował początkowo jako lekarz w rodzinnem mieście; w r. 1762 powołano go na docenta medycyny uniwersytetu bolońskiego, a w r. 1775 na katedrę anatomji praktycznej. W r. 1798 odmówił przysięgi rządowi stworzonej przez Napoleona Rzeczypospolitej Cisalpińskiej, co spowodowało odebranie mu katedry i wszystkich tytułów; ze względu na zasługi naukowe zwrócono mu je w tym samym jeszcze roku, lecz ponownemu objęciu wykładów stanęła na przeszkodzie choroba i śmierć, która nastąpiła 4 grudnia 1798 roku.

Pracując przez lat wiele nad różnemi zagadnieniami anatomji i fizjologji, badał między innemi ruchy mięśniowe oraz wrażliwość nerwów ruchowych u żaby. Podczas tych badań (a nie, jak twierdzi legenda, podczas przygotowywania żab na rosół dla chorej żony) zauważył przypadkowo w r. 1870 działanie iskry elektrycznej na umieszczoną w pobliżu żabę. Przeczuwając, że jest na tropie donosłego odkrycia, prowadził badania nad tem zjawiskiem przez kilka lat, lecz dopiero w r. 1791 ogłosił ich wyniki w rozprawie, z której wyjątki poniżej przytaczamy. Po ogłoszeniu doświadczeń Volty, który wystąpił przeciw przyjętej przez Galvani'ego hipotezie

elektryczności zwierzęcej, wywiązała się gwałtowna polemika pomiędzy zwolennikami i przeciwnikami tej teorji; Galvani sam wziął udział w sporze, ogłaszając w r. 1797 drugą rozprawę o elektryczności zwierzęcej, w której starał się wykazać niedostateczność przypuszczeń Volty. Rozprawa ta żadnych nowych faktów nie zawierała.

W pracach Galvani'ego poznajemy wybitne cechy umysłu autora; rzutki, pełen entuzjazmu, ale mało krytyczny, dał się pociągnąć powierzchownym analogjom, których słuszności nie starał się sprawdzić wszechstronnie. Zjawiska elektryczności zwierzęcej, badane wówczas gorliwie, nasunęły mu błędną hipotezę, która pozornie tłumaczyła odkryte przez niego zjawiska. To nie dało mu zwrócić należytej uwagi na tę okoliczność, że do wywołania zjawiska są potrzebne dwa różne metale. Uczynił to Volta; wykazał błędność hipotezy Galvani'ego i na jej miejsce postawił własną teorję. Pomimo ostrej polemiki, skierowanej przeciw teorjom Galvani'ego, Volta potrafił ocenić ogromne zasługi, jakie jego przeciwnik położył dla nauki; wyrazem tego uznania było nadanie przez Voltę nazwy „galwanizmu" całej dziedzinie nowoodkrytych zjawisk. Prace Galvani'ego otworzyły nowe, nadzwyczaj płodne pole dla badań fizycznych, gdyż stanowiły pierwszy krok do obszernej nauki o prądach elektrycznych.

## O siłach elektryczności przy ruchach mięśniowych [1]).

### CZĘŚĆ PIERWSZA.

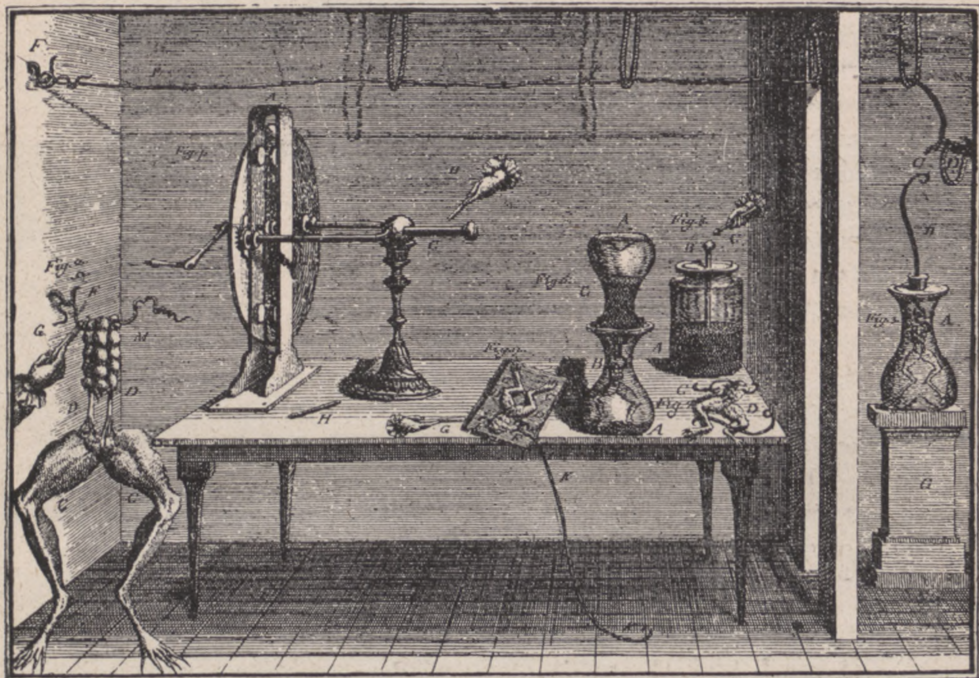
#### Siły elektryczności sztucznej przy ruchach mięśniowych.

Chcąc udostępnić to, co mi się udało odkryć w nerwach i mięśniach, przy niemałym nakładzie pracy i po wielu doświadczeniach, i pragnąc, aby siły ich ukryte o ile możności wyjaśnione zostały... nie znalazłem nic, coby lepiej spełnieniu tego życzenia odpowiadało, jak poddanie pod sąd publiczny mych rezultatów w tej postaci, w jakiej były w rzeczywistości otrzymane...

Rzecz tak się zaczęła. Robiłem dysekcję żaby i odpreparowałem ją tak, jak na rys. 12, i położyłem ją na stole, na którym stała ma-

[1]) „Aloysii Galvani: de viribus electricitatis in motu musculari Comentarius", 1791 roku. Tłumaczone z wydania niemieckiego w „Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften".

china elektryczna, fig. 1. Gdy jeden z moich pomocników przypadkiem dotknął końcem skalpeta bardzo lekko wewnętrznych nerwów udowych *DD* żaby, wszystkie mięśnie stawów zdawały się kurczyć kilkakrotnie, jakgdyby były pozornie opanowane przez gwałtowne skurcze toniczne. Ale innemu, który nam pomagał przy doświadcze-



Rys. 12.
Pierwsze doświadczenia Galvani'ego z żabami.

niach z elektrycznością, wydawało się, iż zauważył, że stało się to podczas wydobywania iskry z konduktora machiny. Zdziwiony tem nowem zjawiskiem, zwrócił na to uwagę mnie, który miałem zupełnie inne zamiary i w myślach byłem pogrążony. Wtedy ogarnął mnie niewymowny zapał i żądza, żeby poddać to próbie i wydobyć na światło dzienne, coby się pod tem ukrywało. Dotykałem więc sam końcem noża tego lub owego nerwu udowego, a w tej samej chwili jeden z obecnych wydobywał iskrę. Zjawisko było zawsze takie same. Gwałtowne skurcze występowały niechybnie w oddzielnych mięśniach stawów w tej samej chwili, w której przeskakiwała iskra, tak, jakgdyby zwierzę dostawało napadu tężca.

Wziąwszy jednak pod uwagę, że ruchy te mogły być spowodowane nie tyle przez iskrę, ile raczej przez dotknięcie noża, co, być może, wywoływało podrażnienie, dotykałem nożem tych samych nerwów w ten sam sposób u innej żaby i to mocniej, ale wówczas, gdy iskier nikt nie wydobywał. Lecz żadnych ruchów nie udało mi się dostrzec. Przyszedłem więc do przekonania, że do wywołania zjawiska są, być może, potrzebne jednocześnie i dotknięcie jakiemś ciałem i iskra...

Pobudzeni nowością zjawiska, zabraliśmy się do... zbadania doświadczalnego różnymi sposobami tej sprawy, używając jednak do tego jednego i tego samego skalpela, aby, o ile można, wykryć przyczyny odrębności nieoczekiwanych. I ta nowa praca nie pozostała bez rezultatu, gdyż odkryliśmy, że całe zjawisko należy przypisać rozmaitym częściom skalpela, za które się go trzymało palcami. Albowiem, ponieważ skalpel miał rączkę kościaną, wstrząśnienia nie występowały przy przeskakiwaniu iskry, jeśli się obejmowało dłonią tę rączkę, zdarzało się to jednak przy dotykaniu palcami ostrza metalowego lub gwoździa żelaznego, którym było ono umocowane. Ponieważ dostatecznie suche kości wykazują naturę idioelektryczną [izolującą], a ostrze i gwóźdź żelazny naturę przewodzącą lub t. zw. anelektryczną, więc doszliśmy do przypuszczenia, iż, jeśli trzymać palcami za rączkę kościaną, płynowi elektrycznemu, działającemu w jakiś sposób w żabie, wzbrania się przystępu, że natomiast przystęp zostaje dozwolony, jeśli chwycić za ostrze lub połączony z nim gwóźdź.

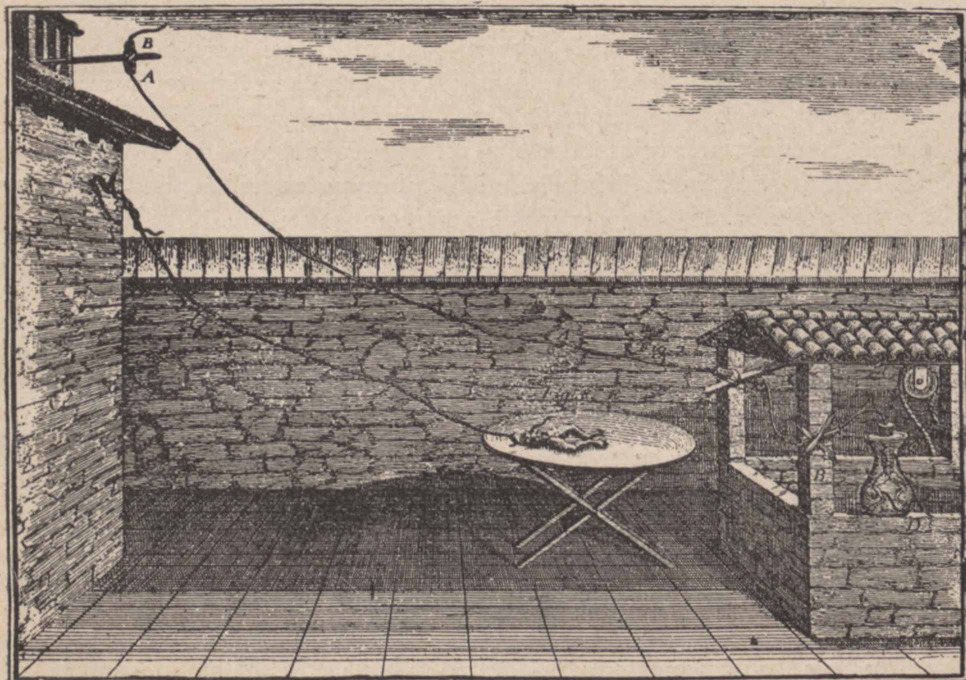
Aby usunąć wszelką wątpliwość, posługiwaliśmy się zamiast skalpela to cienkim wałkiem szklanym *H*, czysto wytartym z wszelkiej wilgoci i wszelkiego kurzu, to walcem żelaznym *G*. Szklanym nie tylko dotykaliśmy nerwów udowych, ale tarliśmy je energicznie podczas wydobywania iskry. Ale napróżno; wbrew wszelkim staraniom zjawisko nie występowało nigdy, nawet gdy liczne, silniejsze iskry wydobywano z konduktora machiny i to w niewielkiej odległości od zwierzęcia. Zato występowało, gdy się lekko tylko dotykało tych samych nerwów walcem żelaznym i przy przeskakiwaniu drobnych tylko iskier.

Tem została jasno i stanowczo dowiedziona prawda naszego przypuszczenia, mianowicie, że do wystąpienia zjawiska koniecznem jest zetknięcie ciała przewodzącego z nerwem...

## CZĘŚĆ DRUGA.

### Siły elektryczności atmosferycznej przy ruchach mięśniowych.

Po odkryciu w skurczach mięśni sił elektryczności sztucznie wzbudzonej, o których pisaliśmy obszernie dotychczas, nic nam się nie wydawało ważniejszem od wyjaśnienia, czy tak zwana elektryczność atmosferyczna wywoła te same zjawiska, czy też nie; czy mianowicie, przy użyciu tych samych urządzeń, błyskawice będą wzbudzały skurcze mięśniowe podobnie, jak przeskakujące iskry.




Rys. 13.
Żaba reaguje na błyskawicę.

Rozpięliśmy więc i izolowaliśmy na otwartem powietrzu na wyżej położonej części domu odpowiedni przewodnik, rys. 13, a mianowicie drut żelazny, i na nim, kiedy na niebie widać było nadchodzącą burzę, zawieszaliśmy za nerwy odpreparowane żaby lub odpreparowane uda zwierząt ciepłokrwistych. Do ich stóp również przytwierdzaliśmy inny przewodnik, mianowicie drugi drut żelazny i to bardzo długi, aby go móc zanurzyć w wodzie studni, wskazanej na

rysunku. Sprawa miała przebieg zupełnie zgodny z naszemi życzeniami tak, jak przy elektryczności sztucznej: ilekroć mianowicie powstawały błyskawice, w tej samej chwili wszystkie mięśnie wpadały w gwałtowne, powtarzające się drgania tak, że zawsze, jak światło błyskawic i ich błyski, tak i ruchy mięśni oraz skurcze poprzedzały odgłos grzmotu i zapowiadały go niejako...

## CZĘŚĆ TRZECIA.

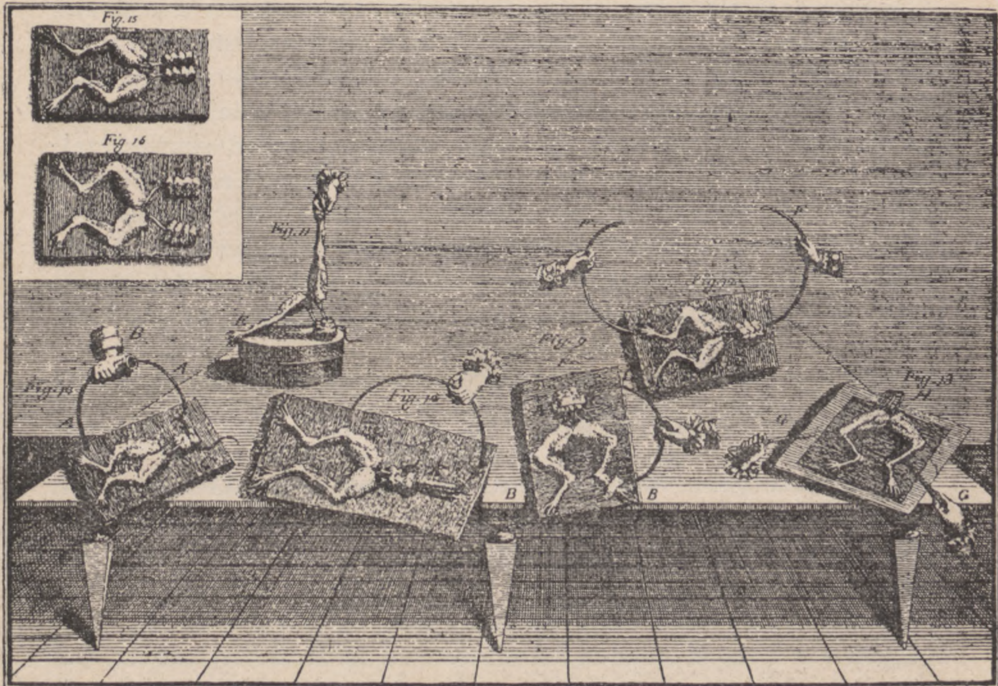
### Siły elektryczności zwierzęcej przy ruchach mięśniowych.

Ponieważ zdarzało mi się czasem zauważyć, że żaby odpreparowane, zaopatrzone również w haczyki mosiężne, wetknięte w mlecz pacierzowy, wisząc na kracie żelaznej, okalającej ogród przy naszym domu, wpadały w zwykłe drgania nietylko przy błyskawicach, lecz także przy spokojnem i jasnem niebie, przypuściłem, że powstawanie tych skurczy należy przypisać zmianom, jakie wtedy zachodziły w elektryczności atmosferycznej. Zacząłem przeto nie bez nadziei starannie badać działanie tych zmian na ruchy mięśniowe i czynić doświadczenia w ten i ów sposób. W tym celu obserwowałem stosownie spreparowane zwierzęta w różnych godzinach i to przez kilka dni z rzędu, ale ruchy w mięśniach występowały zaledwie kiedy niekiedy. W końcu, znużony daremnem oczekiwaniem, zacząłem przyciskać i przygniatać haczyki bronzowe, wetknięte w mlecz pacierzowy, do żelaznej kraty, aby zobaczyć, czy przez taki wybieg skurcze mięśni nie zostaną wzbudzone i czy nie zmiany w stanie atmosfery i elektryczności, lecz inne jakie zmiany i przebiegi nie mają na nie wpływu. Zauważyłem wprawdzie skurcze dość częste, ale nie takie, któreby zależały od rozmaitego stanu atmosfery i elektryczności.

Ponieważ obserwowałem te skurcze tylko na otwartem powietrzu, gdyż gdzieindziej doświadczenia nie były jeszcze robione, przeto niewiele brakło, abym przypisał te skurcze elektryczności atmosferycznej, która wpełza w zwierzę, skupia się tam i uchodzi nagle przy zetknięciu haczyka z kratą żelazną. Łatwo jest bowiem łudzić się przy doświadczeniu i mniemać, że się widzi i znajduje to, co widzieć i znajdować pragniemy.

Przeniosłem jednak zwierzę do pokoju zamkniętego, położyłem je na płycie żelaznej i zacząłem przyciskać do niej haczyk, wetknięty w mlecz pacierzowy, i oto — te same skurcze, te same ruchy! To samo wypróbowałem, używając innych metali, w innych miejscach, o in-

nych godzinach i innych dni; i rezultat zawsze ten sam, tylko że skurcze były różne przy różnych metalach, przy jednych mianowicie silniejsze, przy innych słabsze. Nareszcie przyszło nam na myśl użyć do doświadczeń innych ciał, lecz takich, które przewodzą elektryczność mało lub wcale, a więc składających się ze szkła, z gumy, żywicy, kamienia, lub drewna i to suchych; nic podobnego nie wystąpiło, nie było widać żadnych skurczy, ani ruchów. Rzecz pro-



Rys 14.
Działanie zetknięcia różnych metali.

sta, że podobny wynik wywołał w nas zdumienie niemałe i obudził przypuszczenie, że elektryczność znajduje się wewnątrz samego zwierzęcia. Umocniło nas w tem przekonaniu przypuszczenie istnienia fluidu nerwowego bardzo subtelnego, który płynie podczas zjawiska od nerwów do mięśni, podobnie do prądu elektrycznego w butelce lejdejskiej.

Aby jednak rzecz lepiej wyjaśnić, kładłem z najlepszym rezultatem żabę na płytę nieprzewodzącą, mianowicie ze szkła lub żywicy

i używałem łuku to przewodzącego, to całkowicie lub tylko częściowo nieprzewodzącego, dotykając jednym jego końcem haczyka, wbitego w mlecz pacierzowy, a drugim mięśni udowych albo stóp. Przy tem doświadczeniu zauważyliśmy, że skurcze występowały, gdyśmy używali łuku przewodzącego, fig. 9 na rys. 14, a nie zdarzały się przy użyciu łuku częściowo nieprzewodzącego, jak na fig. 10. Łuk przewodzący składał się z drutu żelaznego, haczyk zaś z drutu mosiężnego...

Nadto udało się nam zauważyć to szczególne i godne uwagi zjawisko, że mianowicie różnorodność i odrębność substancji metalu silnie współdziała wzbudzaniu, a szczególnie zwiększaniu skurczów mięśni i to o wiele więcej, niż przy użyciu jednej i tej samej substancji metalicznej. Tak np. gdy cały łuk był żelazny, skurcze najczęściej się nie pojawiały, lub były bardzo drobne. Lecz gdy część jego była np. żelazna, a druga mosiężna, lub — jeszcze lepiej — srebrna (srebro mianowicie zdało nam się bardziej odpowiedniem do przewodzenia elektryczności zwierzęcej, niż wszystkie pozostałe metale), występowały skurcze wielokrotne, znacznie silniejsze i długotrwałe.

Dalsze doświadczenia Galvani'ego były przeważnie odmianami pierwszych, przedsiębranemi w celu potwierdzenia hipotezy istnienia elektryczności w organizmie zwierzęcym; polegały one głównie na tworzenie łuku, łączącego nerw z mięśniem, z coraz to innych materjałów, w coraz to innym kształcie użytych, na włączaniu weń swego ciała lub tworzeniu łańcucha z kilku ludzi i t. p.

## CZĘŚĆ CZWARTA.

### Niektóre przypuszczenia i wnioski.

Zgodnie z poznanymi dotąd i zbadanymi faktami jest rzeczą, jak mniemam, dostatecznie pewną, że wewnątrz zwierzęcia znajduje się elektryczność, którą za Bartoloni'm i innymi pozwalamy sobie nazwać imieniem gatunkowym elektryczności zwierzęcej...

Trafną byłaby może hipoteza, że włókno mięśniowe jest niejako małą butelką lejdejską lub innem podobnem ciałem elektrycznem, nabitem elektrycznością podwójną i odwrotną, a nerw da się przyrównać do przewodnika butelki...

Resztę rozprawy zajmuje bardzo fantastyczne stosowanie odkrytych zjawisk do zagadnień fizjologji i patologji; między innemi poszukuje Galvani źródła elektryczności zwierzęcej i przypuszcza, że wydziela ją kora mózgowa.

---

## ALEKSANDER VOLTA.

*(1745 — 1827).*

Urodził się 18 lutego 1745 r. w Como; już jako młodzieniec okazywał wybitne zdolności i zamiłowanie do wiedzy. W r. 1774 został profesorem fizyki przy gimnazjum w Como, od r. 1779 do 1819 wykładał fizykę w uniwersytecie w Pawji. W r. 1777 i w latach 1780—1782 odbył dwie podróże po Szwajcarji, Francji, Niemczech, Holandji i Anglji, w czasie których miał sposobność poznać się i pracować razem z szeregiem wybitnych fizyków i chemików ówczesnych, jak Saussure w Genewie, Lavoisier i Laplace w Paryżu, Priestley w Anglji i in. Pociągnęły go zagadnienia nauki o elektryczności, zajmujące wówczas żywo umysły nie tylko uczonych ale i laików, i rozpoczął szereg badań nad niemi. Pracował więc nad teorją butelki lejdejskiej, nad powstawaniem elektryczności przy uderzeniu i przy parowaniu wody, nad działaniem rozbrajającem płomienia, oraz nad elektrycznością atmosferyczną. W r. 1771 odkrył elektrofor, a szczegółowe zbadanie działania tego przyrządu doprowadziło go w roku 1782 do zbudowania kondensatora płaskiego, który zastosował do mierzenia drobnych nabojów elektrycznych oraz do uczulenia elektroskopu; ten przyrząd ulepszył sam w roku 1781, używając źdźbeł słomy zamiast kulek z rdzenia bzowego [1]). Prócz tego pracował nad rozszerzalnością gazów i parowaniem cieczy, wynalazł eudiometr oraz płomień wodorowy. Sławę swą jednak zawdzięcza Volta głównie pràcom, przedsięwziętym w latach 1792—1800 w celu wyjaśnienia odkryć Galvani'ego; te badania doprowadziły go do odkrycia prądów galwanicznych, elektryzacji przez zetknięcie przewodników niejednorodnych, do zestawienia t. zw. szeregu Volty oraz sformułowania prawa tego szeregu, wreszcie do budowy ogniwa i stosu elektrycznego, t. j. pierwszych stałych źródeł prądu elektrycznego. Odkryć swoich Volta nie ogłaszał w rozprawach, lecz, zgodnie z ówczesnym zwyczajem, w listach do licznych przyjaciół i do uczonych zagranicznych. Prace Volty przyniosły mu już za życia powszechne uznanie i zaszczyty; wezwany w r. 1801 do Paryża przez Bonaparte'go, wygłosił w jego obecności w Institut de France odczyt o swym wynalazku; poczem, na wniosek Napoleona, ofiarowano mu złoty medal pamiątkowy; po szeregu dalszych odznaczeń otrzymał w r. 1810 tytuł hrabiego i senatora Lom-

[1]) Anglik Bennet zastosował w r. 1787 listki złota.

bardji. Zmarł 5 marca 1827 r. jako członek licznych towarzystw naukowych. Współczesny mu fizyk francuski Arago tak go scharakteryzował: „Umysł silny i szybki, idee wielkie i trafne, charakter szczery i serdeczny... Ambicja, żądza złota, chęć rywalizacji nie wpływały na żaden z jego czynów. Zamiłowanie do badań nie było zamącone u niego żadnemi przymieszkami światowemi".

Prace Volty stanowią piękny przykład rozwoju myśli naukowej. Po zapoznaniu się z doświadczeniami Galvani'ego zrazu podzielał jego sposób tłumaczenia ich, ale jasna i krytyczna myśl rychło wskazała mu braki tej teorji i skłoniła go do szukania gdzieindziej przyczyny nowych zjawisk; drogowskazem w tem poszukiwaniu było dlań zawsze doświadczenie celowe, trafnie pomyślane, przeprowadzone zręcznie i zadziwiająco prostymi środkami. Znalazłszy poszukiwane źródło prądu w zetknięciu przewodników niejednorodnych, Volta stosuje swe odkrycie z całą ostrożnością, uznaje je najpierw za czynnik współrzędny z elektrycznością zwierzęcą Galvani'ego, a dopiero po usunięciu wszelkich wątpliwości, po dowodnem wykazaniu błędów Galvani'ego i jego zwolenników, głosi śmiało i stanowczo, że wskazane przezeń źródło prądu jest źródłem jedynem.

## O pewnych odkryciach Galvani'ego z Bolonji wraz z doświadczeniami i uwagami.

DWA LISTY DO P. TYBERJUSZA CAVALLO, F R. S.[1]).

*13 września 1792 r.*

I.

...Pragnę dać Panu opis zarówno cudownych odkryć Galvani'ego, jak i postępów, jakich miałem szczęście dokonać w tej dziedzinie...

Ustęp 1 zawiera zwięzły opis doświadczeń Galvani'ego.

2) To zjawisko wywołało w Galvani'm zdumienie większe może, niżby należało, gdyż właściwość nietylko iskry elektrycznej, napotykającej nerw lub mięsień bezpośrednio, lecz każdego prądu, który z jakąbądź prędkością krąży po ciele, jego potężna, powta-

[1]) Listy te ukazały się w języku francuskim w Philosophical Transactions p. t. „On some discoveries made by Galvani of Bologna with experiments and observations on them". Tłumaczenia dokonano z wydania niemieckiego w Ostwald's Klassiker Nr. 118. 73.

rzam, zdolność do wywoływania podrażnień była rzeczą dobrze znaną; było zresztą oczywistem, że tak w tem doświadczeniu, jak i we wszystkich, przytoczonych w dwóch pierwszych częściach jego pracy, jak to widzimy na obu pierwszych tablicach, przez żabę jego przepływał prąd. Należy sobie tylko wyobrazić dobrze znane działanie atmosfer elektrycznych, czyli t. zw. ciśnienia elektrycznego; przez nie elektryczność przewodnika, zanurzonego w obszar czynny ciała elektrycznego, zostaje odepchnięta — w zależności od tego, jak silną i jak obszerną jest ta sfera działania — i pozostaje w tym stanie przesunięcia dopóty, dopóki trwa elektryczność ciała działającego, oraz powraca na swe dawne miejsce, jak tylko ta zostanie usunięta; a dzieje się to powoli, gdy i pierwsze ciało rozbraja się powoli, a nagle, gdy ciało nabite zostanie naraz rozbrojone. Owo to uderzenie zwrotne, ów przepływ powrotny elektryczności do przewodników, połączonych z żabą, nagłe przejście z przewodnika nerwowego do mięśniowego lub odwrotnie, szczególnie gdy prąd taki ogranicza się do jednego tylko wąskiego kanału nerwowego: ono właśnie wywołuje skurcze i ruchy we wspomnianych doświadczeniach...

Dalej stara się Volta ocenić wrażliwość nerwów żaby na podrażnienia elektryczne, szukając najdrobniejszego naboju butelki lejdejskiej, jaki jest jeszcze w stanie wywołać skurcz mięśni, i dochodzi do przekonania, że wystarczają do tego naboje tak słabe, że nie dałyby się wykryć zapomocą któregokolwiek ze znanych wówczas elektroskopów.

10) Jeśli więc nie dziwimy się już doświadczeniom, przytoczonym w obu pierwszych częściach rozprawy Galvani'ego, to jakże mamy się oprzeć zdumieniu wobec całkiem nowych i cudownych, przytoczonych w części trzeciej? Otrzymał on tam te same drgania i ruchy członków bez uciekania się do jakiejkolwiek elektryczności sztucznej lub podrażnienia zewnętrznego, jedynie przez przyłożenie łuku przewodzącego, którego jeden koniec dotykał mięśni, a drugi nerwu lub odpreparowanego kręgosłupa...

13) Galvani wytworzył sobie na podstawie swych doświadczeń wyobrażenie, zgodnie z którem podtrzymuje w każdym wypadku analogję z butelką lejdejską... Gdyby był nieco więcej urozmaicał swe doświadczenia, jak ja to uczyniłem, byłby także zauważył, że owo zetknięcie podwójne z nerwem i z mięśniem, ów obwód prądu, pomyślany przez niego, bynajmniej nie zawsze jest potrzebny. Byłby odkrył to, co ja znalazłem, że można otrzymać te same drgania, te same ruchy nóg i innych kończyn żab i wszystkich innych zwierząt

jedynie przez zetknięcie metaliczne, bądź dwóch miejsc jednego nerwu, bądź dwóch mięśni, a nawet różnych punktów jednego i tego samego mięśnia.

14) Jeśli istnieją nawet wypadki (co mogłoby się jeszcze wydawać bardzo wątpliwem), w których mniemane rozbrojenie pomiędzy nerwem i mięśniem bywa przyczyną ruchu mięśni, to z pewnością i to o wiele częściej istnieją warunki, w których otrzymuje się te same ruchy przez zupełnie inny proces, przez zupełnie inny obieg płynu elektrycznego.

15) Jest to też zupełnie inna czynność płynu elektrycznego, o której można powiedzieć, że raczej narusza równowagę, niż że ją przywraca; gdyż płyn ten przepływa z części mięśnia lub nerwu, zarówno wewnętrznie przez przewodzące włókna, jak i zewnętrznie przez przyłożone przewodniki metalowe, nie wskutek istniejącego niedoboru lub nadmiaru [ob. Franklin], lecz wskutek działania własnego tychże metali, o ile tylko są one różne. W ten sposób odkryłem nowe prawo, które jest nietyle prawem elektryczności zwierzęcej, ile prawem elektryczności zwykłej; jej właśnie należy przypisać większość objawów, które... zdawały się należeć do elektryczności zwierzęcej, co jednak nie zachodzi; są to w istocie działania bardzo słabej elektryczności sztucznej, wzbudzonej w sposób, którego nie przeczuwano, przez proste przyłożenie dwóch okładek różnych metali...

18) Przechodzę teraz do doświadczeń, które dowodzą wszystkich postawionych twierdzeń. Z wielkiej liczby nadających się do tego wybieram tylko niektóre i to takie, które zdają mi się lepiej dowodzić pewnych zasad; większość ich jest nowa i różni się od doświadczeń Galvani'ego...

19) Doświadczenie A. Chwytam szczypczykami nerw udowy powyżej wejścia do nogi i o parę linij wyżej przykładam monetę do tegoż samego nerwu, starannie oczyszczonego, zawieszonego na nitce lub ułożonego na płytce szklanej, lasce laku, suchem drzewie, albo innym złym przewodniku. Następnie dotykam szczypczyków częścią zewnętrzną butelki lejdejskiej, bardzo słabo nabitej, a pręt jej wprowadzam w zetknięcie z drugą płytką metalową. Natychmiast następuje rozbrojenie, które, jeśli nawet jest tak słabe, że się iskry wcale nie otrzymuje, wprawia w drganie wszystkie mięśnie nogi: noga zostaje wstrząśnięta i gwałtownie się porusza. A jednak cała ta noga, a nawet część nerwu znajdowała się poza obrębem drogi, którą obrał płyn elektryczny tak, że tylko mała część nerwu mogła zostać podrażnioną; niemniej wystarczało to do wywołania drgań.

20) D o ś w i a d c z e n i e B. To samo dzieje się, t. j. występują podobne drgania i ruchy nogi bez zastosowania elektryczności zewnętrznej, przez rozbrojenie, jakie występuje, gdy przyłożyć do jednego miejsca nerwu te same szczypczyki, co powyżej, albo płytkę srebrną, a do drugiego miejsca płytkę z jakiego innego metalu, szczególnie z cyny lub ołowiu, poczem poprostu połączyć je albo przez zetknięcie bezpośrednie albo przez włączenie trzeciego kawałka metalu, któryby zamykał łuk przewodzący.

21) Tutaj oto mamy te same działania, bardzo żywe drgania i ruchy mięśniowe bez rozbrojenia płynu elektrycznego pomiędzy nerwami i mięśniami, jak to G a l v a n i zawsze przypuszcza; również bez łączenia jednego końca łuku przewodzącego z nerwem, a drugiego z mięśniami...

Dalsze doświadczenia stwierdzają, że obnażenie i izolowanie nerwu jest zbyteczne, gdyż wystarcza przyłożenie okładek z różnych metali do dwóch różnych miejsc skóry żaby niepokrajanej lub nawet żywej; że to samo zjawisko można otrzymać z innymi mięśniami, a także u innych zwierząt ciepło i zimnokrwistych, że wreszcie otrzymuje się drgania w mięśniach, pociętych na kawałki.

## II.

*25 października 1792 r.*

30) D o ś w i a d c z e n i e G. Pokryłem oba uda żaby w miejscach, dokładnie sobie odpowiadających, dwoma listkami: srebrnym i cynowym, połączyłem obie okładki łukiem przewodzącym i otrzymałem zwykłe poruszenia.

31) Jeśli tak jest, to zapytuję, czy tu rozbrajają się dwie butelki lejdejskie przez połączenie dwóch powierzchni zgodnych? Porzućmy lepiej te wyobrażenia o butelkach i ich rozbrajaniu, jak i wszelkie objaśnienia wymuszone, powiedzmy raczej, że tu, jak i w doświadczeniach analogicznych, płyn elektryczny przelewa się z jednej do drugiej, odpowiednio obłożonej części; jest to przenoszenie, spowodowane nie przez nadmiar tego płynu, gdyż nie można przypuścić istnienia takiego nadmiaru pomiędzy częściami jednakowemi, lecz przez różność okładek, gdyż metale muszą być rozmaite, jak to wykazałem (20, doświadczenie B) i wciąż ponownie podkreślam. I w rzeczy samej:

32) D o ś w i a d c z e n i e H. Gdy dwa mięśnie lub dwa miejsca jednego i tego samego mięśnia są obłożone jednakowo, t. j. dwoma płytkami jednego i tego samego metalu, równemi także pod wzglę-

dem twardości, ciągliwości lub wytrzymałości, wygładzenia lub szorstkości swych powierzchni i jednakowo nałożonemi, to można je dowoli łączyć przewodnikiem, a nie występuje żadne drganie, ani żaden ruch...

Przy próbie pobudzania własnego języka w podobny sposób (przez dotykanie paskiem cynfolji i łyżką srebrną) zamiast spodziewanych ruchów wystąpiły wrażenia smakowe. Tem doświadczeniem utorował Volta drogę dla prawa psychofizyki, że każdy nerw wykonywa tylko jednę funkcję, niezależnie od tego, w jaki sposób jest drażniony.

## LIST PIERWSZY

## DO PANA OPATA ANTONIEGO MARJI VASSALLI [1])

profesora w Turynie.

Jakie jest Pańskie zdanie o domniemanej elektryczności zwierzęcej? Co do mnie, to od dłuższego czasu jestem przekonany, że całe działanie ma swe źródło pierwotne w metalach, stykających się z ciałami wilgotnemi lub z samą wodą; dzięki temu zetknięciu płyn elektryczny w ciałach wilgotnych jest party naprzód przez owe metale, przez jeden mniej, przez drugi więcej (najwięcej przez cynk, najmniej przez srebro); jeśli wówczas przyłożyć nieprzerwany, dobry przewodnik, to płyn zostaje wprowadzony w obieg. Jeśli teraz nerwy udowe odpreparowanej żaby stanowią jakąkolwiek część tego przewodzącego obwodu, ...to mięśnie lub posłuszne nerwom członki zostają wprawione w drgania, gdy tylko wytworzenie obwodu przewodzącego wywołuje podobny prąd elektryczny i ilekroć, po przerwaniu, wytworzyć go znów należycie. Jeśli zamiast nerwów, służących do ruchów, w obwodzie przewodzącym znajdują się nerwy smakowe lub wzrokowe, to zostaje wzbudzone odpowiednie czucie smaku lub światła; a te czucia i te ruchy są tem żywsze, im oba użyte metale bardziej są od siebie oddalone, licząc w przytoczonym porządku:

| | |
|---|---|
| cynk, | miedź, |
| cynfolja, | platyna, |
| cyna zwykła w płytach, | złoto, |
| ołów, | srebro, |
| żelazo, | rtęć, |
| mosiądz i bronz o różnym składzie, | grafit z ołówka. |

---

[1]) Ogłoszony w r. 1794 w Giornale Fisico - medico Brugnatelli'ego. Ostw. Klass. Nr. 114.

Do tego można w końcu jeszcze dodać niektóre węgle drzewne, te mianowicie, które przewodzą prawie tak, jak metale, podczas gdy inne nadają się do tego celu źle lub wcale...

Ale czyż można to, co wskazuje tu na elektryczność zwierzęcą, uważać za coś właściwego organom i pierwiastkowego? Czy nie jest raczej o wiele więcej prawdopodobnem, że one zachowują się biernie tylko, że są jedynie bardzo czułymi elektrometrami, że natomiast właściwie czynnymi są metale; że mianowicie przez zetknięcie ostatnich płynowi elektrycznemu udziela się popędu; że wogóle metale te nietylko przewodzą, ale naprawdę pędzą elektryczność? Co mówię: więcej prawdopodobnem? Jest całkowicie widocznem, że wszystko tu zależy od metali i od różnego ich składu, ponieważ do udania się doświadczeń trzeba koniecznie, aby oba metale były niejednakowe. Więc zamiast mówić o elektryczności zwierzęcej, miałoby się równe prawo do nazywania jej elektrycznością metaliczną.

Niechaj mi nikt nie zarzuca, że czasem można otrzymać ruchy u żab, preparowanych sposobem Galvani'ego przykładając do jednej i drugiej części metale nawet o jednakowych własnościach, mianowicie srebro i srebro, rtęć i rtęć, cynę i cynę, żelazo i żelazo. Tak, otrzymuje się je (ale nie zawsze) w pierwszych chwilach, gdy zwierzę, odpreparowane jaknajlepiej, tak jest jeszcze pobudliwe, że odczuwa rzeczy najdrobniejsze. Ale jak można utrzymywać, że metale użyte są dokładnie i zupełnie jednakowe? Są one takimi tylko z pozoru, nie z istoty; własności przypadkowe, jak miękkość, twardość, gładkość i blask powierzchni, ciepło i t. d. mogą je uczynić wystarczająco różnymi pod względem działania elektrycznego...

Nie zadowoliłem się jednak samymi domysłami, choć były one oparte na słusznych podstawach analogji, lecz chciałem przekonać się doświadczeniem, czy i o ile wymienione własności przypadkowe decydowały o działaniu metali na płyn elektryczny. W tym celu wygiąłem gruby drut z żelaza sprężynowego i próbowałem, czy przez zanurzenie obu jego końców w dwu szklankach z wodą,w których była zawieszona świeżo i dokładnie odpreparowana żaba, mianowicie w jednej tylnemi kończynami, a w drugiej grzbietem lub mleczem pacierzowym (gdy tylko ten był na niej pozostawiony), uda mi się doprowadzić ją do skurczów i podskoków. Przy pierwszych razach udawało mi się to istotnie, mianowicie dwa, trzy, cztery razy; ale mniej więcej po minucie już nie; i muszę powiedzieć, że z różnych drutów żelaznych, o jakie się wystarałem, znalazłem jeden tylko,

który nie działał od samego początku. To samo było z kilkoma łukami srebrnymi i kilkoma miedzianymi, które, jak znalazłem, nie działały przy żadnem doświadczeniu. Istnieją więc wszystkie powody do mniemania, że te, które się okazały nieczynne, były na obu końcach równe sobie pod względem twardości i wszystkich innych własności, co w innych nie miało miejsca, gdyż przecie bardzo trudno i niezmiernie rzadko się zdarza, aby istniała pod tym względem całkowita we wszystkich punktach i zupełna równość. Gdy więc znalazłem jeden z tych drutów żelaznych, który, po kilkakrotnem sprawdzeniu, od samego początku nie dawał żadnych objawów, a wyczerpana żaba nie była już pobudzana przez te, które początkowo w ruch ją wprowadzały, wtedy zanurzyłem jeden koniec tego łuku na jakąś minutę do wrzącej wody, wyjąłem go i, nie dając mu czasu na ostygnięcie, powtórzyłem doświadczenie z żabą w dwóch szklankach zimnej wody; przy powtarzaniu doświadczenia żaba skurczyła się, i to dwa, trzy, cztery razy, dopóki koniec drutu nie ostygł... Następnie wyżarzyłem jeden z końców tego drutu i zmiękczyłem go w ten sposób, podczas gdy drugi koniec pozostał zahartowany, i oto znów odzyskał on własność wywoływania ruchów w żabie nawet po ostygnięciu i to przez czas dość długi, ponieważ zwierzątko nie było jeszcze osłabione...

Powtarzałem te doświadczenia z paskami blachy mosiężnej, srebrnej i cynowej — i to z tym samym wynikiem...

Jeśli po tem wszystkiem Galvani i inni zechcą jeszcze twierdzić, że (przynajmniej w tych wypadkach, kiedy dwa metale jednakowe lub dwa końce tego samego kawałka metalu służą do wzbudzania silnych lub słabych skurczów i ruchów w żabie, odpreparowanej jego sposobem) pobudzenie płynu elektrycznego jest powodowane tylko przez same narządy zwierzęcia, że zatem istnieje jeszcze elektryczność zwierzęca w przyjętem przez niego znaczeniu — to odpowiem, że zaprzeczam, aby te metale, przez które zostały otrzymane wspomniane zjawiska były zupełnie i całkowicie jednakowe, i twierdzę, że były różne pod względem twardości albo gładkości i blasku... Galvani musi dowieść, że pod względem wspomnianych i innych, nie rozpoznanych jeszcze własności nie zachodzi najmniejsza nawet różnica, którąby mogła mieć wpływ; żadna, mówię, różnica dostrzegalna, czy niedostrzegalna pomiędzy końcami metalu, zanurzonymi ten w jednej, tamten w drugiej szklance[1])...

---

[1]) Volta nie uwzględnia, że różnica może też zachodzić we własnościach tkanek, z któremi stykają się końce drutu. Du Bois-Reymond, a za nim

## O elektryczności, wzbudzanej jedynie przez zetknięcie różnych rodzajów substancyj przewodzących [1]).

LIST DO SIR JÓZEFA BANKS'A.

*Como, 20 marca 1800 r.*

Po długiem milczeniu, którego nie będę się starał usprawiedliwiać, mam przyjemność udzielenia Panu, a przez Pana Towarzystwu Królewskiemu wiadomości o pewnych uderzających wynikach, do jakich doszedłem, rozwijając moje doświadczenia nad elektrycznością, wywołaną przez proste zetknięcie wzajemne metali różnego rodzaju lub nawet innych przewodników także różnych od siebie, czy to płynnych, czy też zawierających tylko jakąś wilgoć, której właściwie zawdzięczają swe przewodnictwo. Najistotniejszym z tych wyników, obejmującym nieomal wszystkie inne, jest sporządzenie przyrządu, który przez swe działanie, t. j. przez uderzenia, jakie wywołuje w rękach i t. p., zbliżony jest do butelki lejdejskiej lub raczej do słabo nabitej baterji elektrycznej, która jednak działa nieustannie, albo której nabój odnawia się sam przez się po każdym wybuchu; która, innemi słowy, posiada nabój niewyczerpany, stałe działanie na płyn elektryczny, czyli bodziec. Przyrząd ten różni się jednak pozatem całkowicie od butelki lejdejskiej, zarówno przez owo właściwe mu działanie stałe, jak i przez to, że zamiast składać się, jak zwykłe butelki i baterje elektryczne, z jednej lub kilku płyt odosabniających lub cienkich warstw tych ciał, uważanych jako jedynie elektryczne, a obłożonych przewodnikami, czyli ciałami anelektrycznemi — naodwrót, zbudowany jest wyłącznie z kilku tych ostatnich ciał, wybranych z pośród najlepszych przewodników, które więc, według mniemania powszechnego, są najbardziej oddalone od natury elektrycznej. Tak, przyrząd, o którym mówię, i który niewątpliwie wprowadzi Pana w zdumienie, nie jest niczem więcej, jak tylko zestawieniem pewnej liczby przewodników różnego rodzaju, któ-

---

i inni fizjologowie badali tę sprawę i dowiedli, że zapomocą przewodnika zupełnie jednorodnego można od organizmu zwierzęcego odbierać prąd elektryczny, jeśli w miejscach zetknięcia z przewodnikiem zachodzą różne procesy fizjologiczne, choćby w obrębie jednej i tej samej tkanki (Hermann, 1868). Takie prądy należą do dziedziny elektryczności zwierzęcej w znaczeniu współczesnem, różnem od pojęć Galvani'ego.

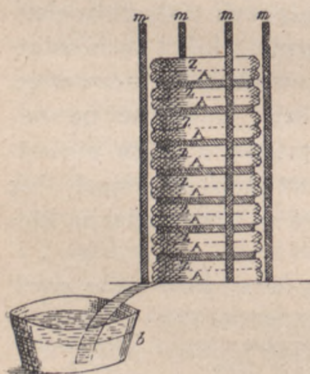
[1]) „On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds", drukowane po francusku w Philosophical Transactions z r. 1800. Tłumaczone z Ostw. Klass. Nr. 118.

re następują po sobie w sposób określony...; przytem, coprawda, jego zdolność działania pod względem siły i hałaśliwości wybuchów, blasku iskry, odległości iskrowej i t. d., jest znacznie słabsza, niż działanie bateryj silnie nabitych; podobny jest pod względem działania zaledwie do baterji słabo nabitej, posiadającej natomiast pojemność nadzwyczajną, prześciga jednak nieskończenie siłę i zdolność tych bateryj tem, że nie wymaga, jak one, nabicia uprzedniego elektrycznością obcą, i że jest w stanie dać uderzenia za każdym razem, gdy go się dotknie odpowiednio, chociażby te doknięcia powtarzały się jaknajczęściej...

Podaję tu Panu opis szczegółowy tego przyrządu i paru innych podobnych, oraz odnośnych a godnych uwagi doświadczeń.

Przygotowuję sobie parę tuzinów małych okrągłych płytek lub krążków z miedzi, mosiądzu lub lepiej srebra, cal lub nieco więcej w średnicy (np. monet) i równą liczbę płytek z cyny lub, co jest znacznie lepsze, z cynku, o kształcie i wielkości w przybliżeniu takich samych... Sporządzam oprócz tego dostateczną liczbę krążków z tektury, skóry lub innego materjału porowatego, zdolnego do pobrania i zatrzymania dużej ilości wilgoci albo wody, którą krążki muszą być dobrze nasiąknięte, aby się doświadczenie udało. Te warstwy lub krążki, które nazywam płytkami wilgotnemi, czynię nieco mniejszemi, niż płytki metalowe, aby nie wystawały poza nie, gdy zostaną pomiędzy nie włożone w sposób, który zaraz opiszę.

Gdy mam pod ręką wszystkie te części w dobrym stanie, t. j. płytki metalowe dobrze oczyszczone i suche, a niemetalowe dobrze nasiąknięte wodą zwykłą lub lepiej słoną, a potem osuszone, aby płyn z nich nie ściekał, wystarczy tylko uporządkować je odpowiednio; a porządek ten jest prosty i łatwy.




Rys. 15.
Stos Volty.

Kładę więc poziomo na stół, lub na jaką inną podstawę jednę z płytek metalowych, np. srebrną, na niej kładę cynkową, a na tę jednę z płytek wilgotnych, potem drugą srebrną, za nią następuje bezpośrednio cynkowa, na którą znów kładę płytkę wilgotną. Postępuję dalej w ten sposób, t. j. składam zawsze do pary płytkę cynkową ze srebrną, t. j. zawsze srebro na dole a cynk na górze lub odwrotnie, zależnie od tego, jak rozpoczą-

łem, i kładąc pomiędzy każdą parę płytkę wilgotną; postępuję tak dalej, powtarzam, aby z wielu takich pięter zbudować stos taki wysoki, jaki się może utrzymać, nie upadając.

Gdy już jest tak wysoki, że zawiera 20 do 30 pięter czyli par metali, jest już w stanie nietylko powodować zapomocą kondensatora wychylenia o przeszło 10 do 15 stopni w elektrometrze Cavallo [z kulkami rdzenia bzowego], nabijać kondensator przez proste zetknięcie, tak że ten wydaje iskry i t. d., ale i palcom, które dotykają takiego stosu na obu końcach, t. j. przy podstawie i wierzchołku, udziela jednego lub kilku drobnych uderzeń, które się powtarzają przy ponawianem dotknięciu; każde z tych uderzeń jest podobne do lekkiego wstrząśnienia, jakie daje słabo nabita butelka lejdejska, albo jeszcze o wiele słabiej nabita baterja, lub wreszcie wyczerpana raja elektryczna, która najlepiej naśladuje działanie mego przyrządu z punktu widzenia powtarzających się uderzeń, jakich może udzielać bez ustanku...

Zresztą działanie mego przyrządu (uderzenia, jakie się otrzymuje) stają się znacznie dotkliwsze w miarę tego, jak wzrasta temperatura otaczającego powietrza, wody lub płytek wilgotnych, które się znajdują w stosie... gdyż ciepło czyni wodę lepiej przewodzącą. Co jednak jeszcze lepiej wywołuje ten sam skutek, to wszystkie prawie sole, a w szczególności sól zwykła. Jest to jedna z przyczyn, jeśli nie jedyna, dlaczego jest korzystną rzeczą, gdy woda pomiędzy... parami metali, woda, którą są nasiąknięte krążki tekturowe i t. p., jest osolona, jak o tem już wspominałem...

Aby powrócić do urządzenia mechanicznego mego przyrządu, nadającego się do wielu odmian, nie będę tu wprawdzie opisywał wszystkich, jakie obmyśliłem i wykonałem na dużą lub małą skalę, lecz niektóre tylko, szczególnie ciekawe i użyteczne; przedstawiają one istotną korzyść, gdyż dają się zestawić łatwiej i dogodniej, są pewniejsze w działaniu, lub dają się dłużej utrzymać w dobrym stanie...

Ustawia się szereg kubków lub garnków z dowolnego materjału, za wyjątkiem metali: kubki drewniane, muszle, naczynia gliniane, a lepiej szklane (małe szklanki lub czarki są najodpowiedniejsze), napełnione do połowy wodą zwyczajną lub lepiej osoloną, albo ługiem; łączy się je i tworzy z nich rodzaj łańcucha zapomocą takiej samej ilości łuków metalowych, których jedno ramię *Aa* lub też tylko koniec *A*, zanurzony w jednym z kubków, jest z miedzi, mosiądzu lub lepiej z miedzi posrebrzonej, podczas gdy drugie *Z*, zanurzone w następnym kubku, jest z cyny lub lepiej cynku... Oba metale,

z których składa się każdy łuk, są zlutowane w miejscach dowolnych, lecz powyżej tych miejsc, które się zanurzają w cieczy; z tą ostatnią łuk musi się stykać dostatecznie wielką powierzchnią, więc jest stosownem, aby ta część składała się z płytki, mającej cal kwadratowy lub niewiele mniej; reszta łuku może być dowolnie wąska, — choćby ze zwykłego drutu metalowego. Może się też składać z trzeciego




Rys. 16.
Baterja Volty.

metalu, różnego od tych, które są zanurzone w cieczy kubków, gdyż działanie na płyn elektryczny, jakie dają wszystkie zetknięcia kilku bezpośrednio po sobie następujących metali, czyli siła, z jaką pędzą ten płyn ku końcowi, jest bezwzględnie lub prawie taka sama, jak siła otrzymana przez bezpośrednie zetknięcie pierwszego metalu z ostatnim, bez żadnego metalu pośredniego, co potwierdziłem doświadczeniami bezpośredniemi [1])...

Ustawmy trzykroć po dwadzieścia filiżanek lub kubków i połączmy je z sobą w łańcuch łukami metalowymi, lecz w ten sposób, żeby w pierwszych dwudziestu łuki były zwrócone w tę samę stronę, np. ramiona ze srebrem na lewo, z cynkiem na prawo; ale w drugich dwudziestu w kierunku odwrotnym, t. j. cynk na lewo, srebro na prawo; wreszcie w ostatnich dwudziestu srebro znów na lewo, jak na początku. Po takiem ustawieniu zanurzmy palce w wodzie pierwszego kubka i dotknijmy trzymaną w drugiej ręce płytką pierwszego łuku metalowego (tego, który łączy pierwszy kubek z drugim), następnie drugiego łuku pomiędzy drugim i trzecim kubkiem, i potem po kolei

---

[1]) Wspomniane doświadczenia, opisane w liście do de Lamétherie, polegały na mierzeniu zapomocą czułego elektroskopu i kondensatora napięć, wywołanych przez zetknięcie różnych metali; znalazł w nich Volta, że, jeśli pomiędzy dwa metale *A* i *B* włączyć szereg innych, *CDE...K*, to suma napięć pomiędzy kolejnemi parami, *A*/*C*, *C*/*D*, *D*/*E*...*K*/*B*, równa się napięciu zetknięcia bezpośredniego metali krańcowych *A*/*B*. Jest to t. zw. prawo szeregu Volty. Stosują się do niego tylko przewodniki, nieulegające rozkładowi przez prąd, czyli tak nazwane przez Voltę przewodniki pierwszej klasy. Przewodniki drugiej klasy, ulegające rozkładowi przez prąd elektryczny, nie stosują się do prawa szeregu, więc w obwodzie, w skład którego wchodzą, mogą powstawać prądy galwaniczne

następnych aż do ostatniego. Jeśli woda jest dobrze osolona i ciepła, a skóra ręki dobrze zmoczona i zmiękczona, poczujemy małe wstrząśnienia w palcach już po dojściu do czwartego lub piątego łuku, a przy przechodzeniu po porządku do szóstego, siódmego i t. d. uderzenia stopniowo wzmogą się aż do dwudziestego łuku, t. j. do ostatniego, zwróconego w tę samą stronę ;jeśli jednak przejdziemy dalej do 21, 22, 23, czyli pierwszego, drugiego, trzeciego drugiej dwudziestki, to uderzenia będą za każdym razem słabsze i to tak, że przy 36 lub 37 stają się niedostrzegalne i zupełnie zanikają przy 40; gdy ten przekroczyć (i zacząć trzecią dwudziestkę, skierowaną odwrotnie do drugiej, lecz analogicznie z pierwszą), uderzenia nie dadzą się odczuć aż do 44 lub 45; odtąd będą dostrzegalne i będą się wzmagały stopniowo, w miarę posuwania się do 60, przy którym staną się tak silne jak przy 20 łuku. Gdyby dwadzieścia środkowych łuków obrócić w tym samym kierunku, co dwadzieścia poprzedzających i dwadzieścia następnych, gdyby więc wszystkie 60 współdziałały w pędzeniu płynu elektrycznego w tym samym kierunku, to łatwo zrozumieć, o ile działanie byłoby w końcu większe, a wstrząśnienie silniejsze...

Gdy łańcuch albo wieniec kubków jest dość długi i może dać silne uderzenie, to odczuje się je nawet, coprawda o wiele słabiej, jeśli zanurzyć obie ręce w jednem tylko dość dużem naczyniu z wodą, w którem kończą się pierwszy i ostatni łuk metalowy, o ile tylko jedna lub druga z zanurzonych rąk lub lepiej obie dotykają tych łuków lub są dość blisko nich; odczuje się, powiadam, uderzenie skoro tylko (po przerwaniu w jakikolwiek sposób łańcucha) wznowi się połączenie i zamknie obwód w którykolwiek ze wspomnianych sposobów. Możnaby się zadziwić, że prąd elektryczny w tym obwodzie, chociaż ma przejście swobodne przez nieprzerwaną masę wody, mianowicie przez wodę w naczyniu, opuszcza ten dobry przewodnik, aby przejść przez ciało osoby, która zanurzyła ręce w wodzie, i w ten sposób nakłada drogi. Ale to zdziwienie ustąpi, jeśli rozważyć, że żyjące i ciepłe materje zwierzęce, a szczególniej ich wilgocie są wogóle przewodnikami lepszymi, niż woda. Więc ciało osoby, która włożyła ręce w wodę, daje prądowi elektrycznemu przejście łatwiejsze, i ten musi je wybrać, pomimo że jest dłuższe. Ponieważ zresztą płyn elektryczny, gdy ma przeniknąć przewodniki niedoskonałe w większej masie, w szczególności przewodniki wilgotne, lubi się rozlać szerszem korytem lub rozdzielić się na kilka części, a nawet obejść dłuższą drogą, jeśli znajdzie tam opór mniejszy... więc i w naszym

wypadku tylko część prądu elektrycznego obiera sobie drogę przez osobę i oddala się od wody, druga część, większa lub mniejsza, przechodzi przez wodę w naczyniu. To jest powodem, dlaczego uderzenie, jakie się czuje, jest o wiele słabsze, niż wtedy, gdy prąd elektryczny pozostaje niepodzielonym, gdy jedynie człowiek stanowi połączenie od jednego łuku do drugiego [1])...

Koniec listu zajmuje opis paru drobnych ulepszeń stosu, stwierdzenie działania prądu elektrycznego na rozmaite zmysły, wreszcie przeprowadzenie analogji pomiędzy budową narządu elektrycznego ryb elektrycznych a urządzeniem stosu.

---

## Źródło napięcia elektrycznego.

W ciągu całej pracy nad powstawaniem prądów galwanicznych Voltę zajmowało pytanie, w którem miejscu obwodu, złożonego z trzech przewodników, należy szukać źródła napięcia elektrycznego; jest to istotnie jedna z najważniejszych kwestyj, jakie się nasuwają przy rozważaniu działania ogniwa elektrycznego; istnieją tu dwie możliwości: różnica potencjału powstaje albo w miejscu zetknięcia metali z sobą, a przewodnik ciekły (elektrolit) służy tylko do przenoszenia napięcia od jednej pary metali do drugiej; albo — w miejscu zetknięcia metali z elektrolitem, a zetknięcie metali gra rolę drugorzędną. Volta, po długich wahaniach, doszedł w końcu do przekonania, że słusznem jest pierwsze przypuszczenie; opierał się przytem na własnych doświadczeniach, które wykazały, że płytki z różnych metali elektryzują się w sposób widoczny przy dotknięciu wzajemnem, że natomiast elektryzacja przy zetknięciu metalu z przewodnikiem ciekłym jest ledwo dostrzegalna. Od tego czasu poświęcono temu zagadnieniu mnóstwo prac doświadczalnych i teoretycznych; zauważono, że teorja Volty, t. zw. teorja kontaktowa, nie uwzględnia wcale zjawisk chemicznych, związanych nierozerwalnie z powstawaniem prądu w ogniwie; de la Rive przeciwstawił jej w r. 1836 teorję chemiczną ogniwa, szukając źródła prądu tam, gdzie się odbywają zmiany chemiczne, t. j. na powierzchni zetknięcia metalu z elektrolitem; teorję tę wybitnie poparł Faraday, który przeczuwał i stosował w swych rozumowaniach zasadę zachowania energji. Sto-

[1]) W ostatnich ustępach uderza, jak dobrze Volta zdawał sobie sprawę ze stosunków ilościowych w obwodzie galwanicznym; tkwią w nich zawiązki praw, odkrytych później przez Ohma i Kirchhoffa.

sunek obu zjawisk: elektrycznych i chemicznych mógł być ujęty dokładnie dopiero po odkryciu zasady zachowania energji; istotnie, Helmholtz stwierdził (r. 1847), że energja prądu elektrycznego ma swój całkowity równoważnik w procesach chemicznych, odbywających się w ogniwie. Dalszem poparciem teorji chemicznej było stwierdzenie przez Ostwalda w r. 1887, iż, wbrew twierdzeniom Volty, pomiędzy metalami i elektrolitami istnieją napięcia tak znaczne, że wystarczają zupełnie do wytłomaczenia powstawania siły elektrobodźczej ogniwa; napięcie pomiędzy metalami musi być więc żadne lub nader słabe. To samo twierdzi Nernst w swej teorji zjawisk elektrochemicznych (r. 1880) zakładając, że napięcie elektryczne istnieje tylko pomiędzy ciałami, zawierającemi jony (ob. Faraday) tych samych pierwiastków w różnej koncentracji. Teorja Nernsta najlepiej ze wszystkich znanych zgadza się z doświadczeniem. Zwolennicy teorji chemicznej utrzymują, że doświadczenia Volty były błędne, gdyż pomiędzy użytemi przezeń płytkami musiała się znajdować warstwa wilgoci lub gazów, okludowanych przez metale, trudna do usunięcia nawet przy największych staraniach, i że ta właśnie warstwa powodowała, przy zetknięciu z metalami, powstawanie napięć, mierzonych przez Voltę. Istotnie, dalsze badania wykazały, że wielkość napięć pomiędzy metalami nie jest wielkością niezmienną, lecz zależy od szeregu okoliczności ubocznych. Ale nawet przy bardzo starannych doświadczeniach w próżni metale wykazywały różnice potencjału, coprawda znacznie mniejsze od tych, które otrzymał Volta. Jest to w zgodzie ze zjawiskiem, odkrytem w r. 1834 przez Peltier'a: przy przechodzeniu prądu elektrycznego przez spojenie dwóch różnych metali ciepło w miejscu spojenia zostaje albo pochłaniane, albo wydzielane, zależnie od kierunku prądu, zależnie więc od tego, czy prąd płynie wbrew, czy też zgodnie z napięciem, jakie panuje pomiędzy obu metalami. Z wielkości efektu cieplnego można obliczyć to napięcie; rachunek daje wartości o wiele mniejsze od siły elektromotorycznej odpowiednich ogniw, mniejsze też od napięć, mierzonych bezpośrednio przez Voltę. Napięcie pomiędzy czystymi metalami może więc stanowić tylko nieznaczną część całkowitej siły elektromotorycznej w ogniwach.

### Działania chemiczne prądów galwanicznych.

Odkrycie Galvani'ego i Volty otworzyło nową, olbrzymią dziedzinę badań fizycznych: dziedzinę prądów elektrycznych. Narazie główną uwagę badaczy zwróciły działania chemiczne prądu.

Działania takie były już obserwowane przy rozbrojeniach elektryczności statycznej. W r. 1785 chemik angielski Priestley zauważył powstawanie tlenków azotu przy przeskakiwaniu iskry przez powietrze. W dwa lata później dwaj holendrzy Paetz van Troostwyk i Deimann, przepuszczając iskrę przez wodę, mogli rozłożyć ją na składniki gazowe; gdy gazów tych zebrało się tyle, że nowa iskra przez nie obrała sobie drogę, nastąpił wybuch i połączenie produktów rozkładu zpowrotem w wodę.

Zaraz po pierwszych odkryciach Volty J. W. Ritter otrzymał ślady rozkładu wody zapomocą jednej „pary" metali. W roku 1820 Antoni Carlisle i William Nicholson umieścili kroplę wody na górnej płytce stosu Volty i zanurzyli w niej koniec drutu, idącego od najniższej płytki i wywołali w ten sposób rozkład wody. Dalsze badania zawdzięczamy głównie Ritterowi (1778—1810) i Davy'emu (1778—1829).

HUMPHREY DAVY (1778 — 1829), urodzony w Kornwalji, jako syn ubogiego drzeworytnika, nie odebrał systematycznego wykształcenia, lecz dostawszy się na naukę do chirurga, przez studjowanie dzieł chemicznych nabył takiej wiedzy w tej dziedzinie, że już jako 20 - letni młodzieniec został kierownikiem specjalnej pracowni chemicznej w Bristolu. W r. 1801 został kierownikiem Royal Institution, w 1803 członkiem Royal Society, a w 1820 prezydentem tego słynnego towarzystwa naukowego (ob. życiorys Faraday'a).

Prócz prac z elektrochemji, które nas tu bliżej zajmują, wsławił się licznemi innemi odkryciami: zbadał skład chemiczny kwasu solnego i wykazał, że chlor jest ciałem prostem; że wapno palone, magnezja i baryt są tlenkami metali; zbadał zachowanie się węgli w łuku Volty, a zapomocą magnesu wywołał wirowanie łuku — zjawisko, wyzyskane później przez Ignacego Mościckiego przy wiązaniu azotu z powietrza [1]); zbudował znaną lampę bezpieczeństwa, używaną w górnictwie. Wraz z Rumfordem utorował drogę przekonaniu, że ciepło może powstawać z pracy (ob. dział Ciepła).

---

[1]) IGNACY MOŚCICKI. ur. w 1867 r., szkoły ukończył w Warszawie, studjował chemję w Rydze. Zmuszony do opuszczenia granic ówczesnej Rosji wskutek zamieszania w sprawy polityczne, wyjechał do Londynu, a następnie do Fryburga. Tam był od r. 1897 asystentem prof. Józefa Wierusz-Kowalskiego, polskiego fizyka, znanego z prac nad fluorescencją i fosforescencją, i pracował nad sposobami utleniania azotu w łuku Volty. W trakcie tych badań natknął się na zagadnienie przebijania iskrą izolatora w kondensatorach; zbudowany przez

R i t t e r stwierdził, że prócz wody wiele innych cieczy i roztworów ulega rozkładowi elektrycznemu, a następnie pierwszy zebrał większe ilości produktów rozkładu wody, umieszczając nad drutami doprowadzającemi prąd probówki napełnione wodą i odwrócone dnem do góry.

R i t t e r zauważył „męczenie się" stosów galwanicznych, lecz nie umiał tego wytłomaczyć; uczynił to V o l t a przez przypuszczenie, że to gazy z rozkładu osadzają się na płytkach metalu i że w ten sposób powstaje ogniwo wtórne, złożone z warstw tlenu i wodoru, przedzielonych warstwą zakwaszonej wody. R i t t e r niezwłocznie zbudował stos „wtórny", taki, jak stos Volty, lecz złożony tylko z krążków miedzianych; gdy po przepuszczaniu przez niego przez pewien czas prądu ze stosu Volty, połączył z sobą jego końcówki, otrzymał dość silny, choć krótkotrwały prąd; był to pierwszy krok ku „akumulowaniu" prądów elektrycznych.

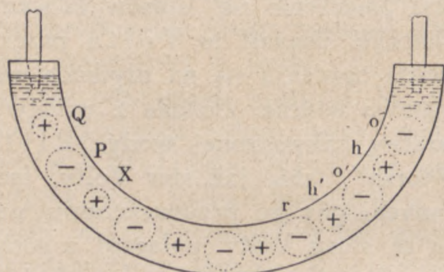
D a v y ustalił, że tlen i wodór, otrzymane z elektrolizy wody, występują w ilościach, odpowiadających składowi chemicznemu tego związku; aby uniknąć błędu, wynikającego ze znacznej rozpuszczalności tlenu w wodzie, nasycał wodę tlenem przed pomiarem. Następnie stwierdził zapomocą szeregu doświadczeń, że do tego, aby woda mogła ulegać elektrolizie, musi ona zawierać choćby minimalne ilości rozpuszczonych soli, kwasów albo zasad; wystarczy niedość starannie przeprowadzona destylacja lub rozpuszczanie szkła w naczyniu; wydzielanie się tlenu i wodoru jest wynikiem reakcyj wtórnych, zachodzących przy elektrodach. Jeśli usuwać wodę i rozkładać elektrolit stopiony, to można uniknąć reakcyj wtórnych. Przeprowadzona elektroliza stopionego ługu potasowego dała zadziwiające rezultaty: na biegunie ujemnym pojawiły się błyszczące kuleczki metalu, które, zetknięte z wodą, wydzielały wodór i zamieniały się zpowrotem na ług; tą drogą pierwszy raz w dziejach chemji D a v y otrzymał metaliczny potas; w krótkim czasie potem w ten sam sposób otrzymał sód, a później bar, stront i wapń.

Pierwszą próbę wytłomaczenia elektrolizy uczynił T e o d o r

---

niego typ kondensatora do wysokich napięć, zapobiegający przebiciu (butelka z cienkiego szkła o brzegach zgrubionych w miejscu niebezpiecznem, t. j. tam, gdzie się kończą okładki), znalazł zastosowanie w stacji radjotelegraficznej na wieży Eiffla w Paryżu. Opracowana metoda wiązania tlenu znalazła zastosowanie techniczne w fabrykach, zakładanych i prowadzonych przez M o ś c i c k i e g o Profesor elektrochemji we Lwowie (1912) i w Warszawie (1925), założył „Instytut Badań Chemicznych". W r. 1926 wybrany na Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej.

Grotthus (1785—1822); przypuszcza on, że atomy, wiążąc się chemicznie, elektryzują się wzajemnie: jeden ujemnie, drugi dodatnio Cząsteczki wody mają więc bieguny elektryczne dodatnie na wodorze, ujemne na tlenie, a pod wpływem zanurzonych elektrod zwracają się biegunami dodatnimi ku elektrodzie ujemnej, a ujemnymi ku




Rys. 17.
Wędrówka jonów według Grotthusa.

dodatniej. Jeśli teraz atom tlenu, oderwany przyciąganiem od swego wodoru, wydzieli się na elektrodzie dodatniej, to uwolniony wodór połączy się z tlenem cząsteczki sąsiedniej, uwalniając zkolei jej wodór; będzie się to ciągnęło aż do elektrody ujemnej, na której wydzieli się ostatni uwolniony atom wodoru. Podobne rozumowanie można zastosować do wszystkich t. zw. związków podwójnych.

Mechanizm ten w zasadniczych rysach został przyjęty przez współczesnych, chodziło tylko o to, skąd się biorą naboje na atomach, wchodzących w skład związku.

Davy sprowadza to do naelektryzowania przez zetknięcie „Wszystkie ciała, łączące się z sobą chemicznie... dają przy zetknięciu odwrotne stany elektryczne... Przypuśćmy, że ich najmniejsze czyli elementarne cząsteczki mogą się poruszać z zupełną swobodą, to, zgodnie z przytoczoną zasadą, przyciągałyby się wzajemnie, dzięki swym siłom elektrycznym..."

Podobne stanowisko zajął znakomity chemik szwedzki Berzelius (1779—1848). Przyjął on istnienie w atomach elektryczności obu znaków; przy zetknięciu część elektryczności przechodzi z jednego atomu na drugi, stwarzając na atomach przewagę jednego znaku, a to wywołuje wzajemne przyciąganie się naelektryzowanych atomów i utrzymuje je w związku z sobą.

Te teorje, choć ustąpiły współczesnym poglądom, opartym na pojęciu jonów, mają doniosłe znaczenie w dziejach nauki, ponieważ stanowią

pierwszą poważną próbę sprowadzenia powinowactwa chemicznego do sił elektrycznych.

Dalszy rozwój teorji wymagał przedewszystkiem stwierdzenia, jakie ilościowe stosunki zachodzą przy elektrolizie. Pod tym względem poglądy były zupełnie nieustalone. Dopiero Michał Faraday zbadał to zagadnienie zapomocą wielkiej liczby przekonywujących doświadczeń i doszedł do swych praw elektrolizy — prostych a powszechnych.

---

## Rozdział VI.

## DZIAŁANIE MAGNETYCZNE PRĄDÓW GALWANICZNYCH.

NAJWAŻNIEJSZEM, zarówno teoretycznie, jak i praktycznie, działaniem prądu elektrycznego jest wytwarzanie pola magnetycznego. Pod tym jednym wyrazem ukrywa się znaczna liczba poszczególnych a doniosłych zjawisk, a więc odchylanie igły magnetycznej, przyciąganie lub odpychanie innych prądów, wzbudzanie magnetyzmu w żelazie, wytwarzanie prądów indukcyjnych, zjawiska samoindukcji, wreszcie powstawanie fal elektromagnetycznych. Odkrycie tej nowej dziedziny badań zawdzięczamy duńskiemu fizykowi Oersted'owi.

### JAN CHRISTIAN OERSTED.

*(1771 — 1851).*

Jan Christian Oersted, urodzony w małem miasteczku, wykształcenie początkowe zdobywał drogą samouctwa razem z młodszym bratem, późniejszym znakomitym mężem stanu i ministrem duńskim; książki, jakie mogli zdobyć, i pracownia ojca zastępowały im szkołę; pracowali tak dzielnie, że po krótkiem przygotowaniu obaj zdali egzaminy w Kopenhadze i wstąpili na uniwersytet: Jan Christian studjował początkowo medycynę, potem przyrodę, nie zaniedbując przytem filozofji i językoznawstwa. Jako profesor fizyki w uniwersytecie kopenhaskim i w szkołach wojskowych. a później dyrektor politechniki, Oersted pracował doświadczalnie nad fizyką i chemją i wówczas, w r. 1820, odkrył działanie prądu elektrycznego na igłę magnesową. Już poprzednio wielu fizyków podejrzewało, że istnieje jakiś związek pomiędzy elektrycznością a magnetyzmem; poszukiwania jednak były daremne, póki skierowywano je w stronę nabojów statycznych.

Oersted również wykazał i wymierzył ściśliwość wody i innych cieczy zapomocą zbudowanego przez siebie piezometru. Pocią-

gały go przytem ogólne zagadnienia przyrodoznawstwa, spekulacje filozoficzne i estetyczne; myśli swe ogłosił w dwóch dziełach: „Nauki przyrodnicze w stosunku do poezji i religji" i „Duch w przyrodzie"; w drugiej z tych książek wypowiada poglądy, zgodne zupełnie z późniejszą teorją Darwin'a. Ceniony i szanowany powszechnie, zmarł w r. 1851.

### Doświadczenia nad działaniem konfliktu elektrycznego na igłę magnetyczną [1]).

Pierwsze doświadczenia nad przedmiotem, który pragnę wyjaśnić, były wykonywane podczas wykładów o elektryczności, galwanizmie i magnetyzmie, które miałem w ciągu ubiegłej zimy. Z doświadczeń tych zdawało się wynikać, że igłę magnetyczną można wyprowadzać z jej położenia zapomocą przyrządu galwanicznego [baterji ogniw] i to przy zamkniętym obwodzie galwanicznym, nie zaś przy otwartym, jak tego napróżno próbowali przed kilku laty niektórzy sławni fizycy...

Przyrząd galwaniczny, którym posługiwaliśmy się, składa się z 20 kwadratowych naczyń miedzianych, z których każde ma 12 cali długości, 12 cali wysokości i $2^1/_2$ cala szerokości i każde jest zaopatrzone w dwa paski miedziane, tak pochylone, że mogą unosić pręt miedziany, który podtrzymuje płytę cynkową, zanurzoną w cieczy naczynia sąsiedniego. Do wody, którą były wypełnione naczynia, dodano kwasu siarkowego w stosunku $^1/_{60}$ jej ciężaru oraz tyleż kwasu azotowego, a część płyty cynkowej, zanurzona w każdem naczyniu, stanowiła kwadrat o długości boku równej 10 calom. Można jednak używać także i mniejszych przyrządów, aby tylko były w stanie rozżarzyć drut [2]).

Wyobraźmy sobie, że przeciwne końce przyrządu galwanicznego są połączone zapomocą drutu metalowego. Dla krótkości będę go nazywał wprost przewodnikiem łączącym lub drutem łączącym; działanie zaś, zachodzące w tym przewodniku łączącym i wokoło niego, określę nazwą konfliktu elektrycznego.

---

[1]) „Experimenta circa effectum Conflictus electrici in Acum magneticum". Oryginał, drukowany na oddzielnym arkuszu i datowany 21 lipca 1820 r., był rozesłany przez autora Akademjom i uczonym. Przekład z tłomaczenia niemieckiego Gilbert'a, Ostwald's Klass. Nr. 63.

[2]) Późniejsze badania wykazały, że żarzenie drutu jest tu zupełnie zbyteczne; nawet bardzo słabe prądy działają na igłę magnetyczną.

1) Umieśćmy prostolinjowy kawałek tego drutu łączącego w położeniu poziomem ponad zwykłą, swobodnie poruszającą się igłą magnetyczną tak, aby był względem niej równoległy; w tym celu można drut wyginać dowolnie bez szkody. Gdy wszystko jest już tak ustawione, igła porusza się i to tak, że uchyla się ku zachodowi z pod tej części drutu łączącego, która prowadzi od ujemnego końca przyrządu galwanicznego. Gdy odległość drutu od igły magnetycznej nie przekracza $^5/_4$ cala, odchylenie to wynosi około 45°. Przy większej odległości kąty odchylenia zmniejszają się wraz z rosnącem oddaleniem. Zresztą odchylenia są różne, zależnie od różnej siły przyrządu.

Można przesuwać drut łączący ku wschodowi lub zachodowi, byleby pozostawał równoległym do igły: nie ma to żadnego innego wpływu na wynik, jak tylko zmniejszenie odchylenia. Nie można więc bynajmniej przypisywać tego działania przyciąganiu, gdyż ten sam biegun igły magnetycznej, który się zwraca ku drutowi łączącemu, gdy się ten znajduje na wschód od igły, odwraca się od drutu, gdy ten jest umieszczony od igły na zachód; nie byłoby to możliwem, gdyby odchylenia były powodowane przez przyciągania i odpychania.

2) Drut łączący może się składać z kilku połączonych drutów lub pasków metalowych. Natura metalu nie wpływa na wynik — jedynie może na jego siłę. Używaliśmy z równem powodzeniem drutów platynowych, złotych, srebrnych, mosiężnych i żelaznych, dalej pasków cynowych i ołowianych, wreszcie rtęci. Jeśli przewodnik jest przerwany przez wodę, to działanie ustaje niecałkowicie, chyba że przestrzeń wodna wynosi kilka cali.

3) Drut łączący działa na igłę magnetyczną poprzez szkło, metale, drzewo, wodę, żywicę, poprzez naczynia gliniane i poprzez kamienie; albowiem, kiedyśmy umieszczali pomiędzy drutem i igłą płytę szklaną, płytę metalową lub deskę, działanie nie ustawało, a nawet wszystkie trzy rzeczy razem zdawały się ledwo osłabiać działanie. Również mało wpływał elektrofor, płyta porfirowa i naczynie gliniane, nawet napełnione wodą. Doświadczenia nasze wykazały także, że wspomniane działania nie zmieniają się, gdy wziąć igłę magnesową, umieszczoną w puszcze mosiężnej, pełnej wody...

4) Gdy drut łączący znajduje się w płaszczyźnie poziomej poniżej igły magnesowej, to wszystkie wymienione działania odbywają się w kierunku odwrotnym, niż wtedy, gdy się znajduje w płaszczyźnie poziomej powyżej igły; pozatem wszystko odbywa się w ten sam sposób...



ALEKSANDER VOLTA

5) Drut łączący, który znajduje się w tej samej płaszczyźnie poziomej, co i igła magnetyczna... i jest do niej równoległy, nie uchyla jej ani ku wschodowi, ani ku zachodowi, lecz wywołuje chwianie się w płaszczyźnie inklinacji tak, że biegun, w pobliżu którego ujemna siła elektryczna wchodzi do drutu, zostaje obniżony, jeśli drut znajduje się na zachód, a wzniesiony — jeśli na wschód od igły.

6) Jeśli drut łączący ustawić prostopadle do płaszczyzny południka magnetycznego, pod czy nad igłą, to pozostaje ona w spoczynku, o ile drut nie jest dość blisko bieguna. Wówczas biegun zostaje podniesiony, jeśli wejście (elektryczności ujemnej) zachodzi po stronie zachodniej drutu, a opuszczony, jeśli ma miejsce po stronie wschodniej...

7) Igła mosiężna, zawieszona na podobieństwo igły magnesowej, nie porusza się pod działaniem drutu łączącego. Igła szklana lub lakowa też pozostaje w spoczynku przy podobnych doświadczeniach.

To wszystko pozwala na wyprowadzenie paru uwag, mogących wyjaśnić te zjawiska. Konflikt elektryczny ma możność oddziaływania jedynie na magnetyczne części materji. Wszystkie ciała niemagnetyczne zdają się przepuszczać przez siebie konflikt elektryczny, natomiast ciała magnetyczne, a raczej ich magnetyczne cząsteczki zdają się przeszkadzać przechodzeniu konfliktu elektrycznego, a stąd wynika, że mogą być wprawione w ruch przez zderzenie walczących sił.

Że konflikt elektryczny nie jest zamknięty w drucie przewodzącym, lecz, jak zaznaczono, rozchodzi się jednocześnie dość szeroko w otaczającej przestrzeni, to wypływa dostatecznie jasno z przytoczonych doświadczeń.

Z tego, co zostało zaobserwowane, można też wnioskować, że konflikt ów rozchodzi się po kołach; gdyż bez tego przypuszczenia wydaje się rzeczą niezrozumiałą, jakim sposobem jedna i ta sama część drutu łączącego, ustawiona pod jednym biegunem igły magnetycznej, może ją pędzić na wschód, a znajdując się nad tym samym biegunem, porusza igłę na zachód; tymczasem ruch kołowy odbywa się w kierunkach odwrotnych na przeciwległych końcach średnicy...

Z wywodów Oersted'a wynika, że nie miał on jasnego poglądu na istotę prądu galwanicznego (samą nazwę „prąd elektryczny" wprowadził o kilka miesięcy później Ampère); wyrażenia takie, jak „konflikt elektryczny" lub „zderzenia walczących sił", wskazują, że myślał on o ciągłem rozbrajaniu się biegunów baterji i ścieraniu się z sobą nabojów o przeciwnych znakach. Jeszcze bardziej mglisto ta sprawa wygląda, gdy za pole konfliktu uważa nie tylko drut przewodzący, ale i otaczającą przestrzeń. Dziś powiedzielibyśmy, że Oersted po-

mieszał przewodzenie prądu z wytwarzanem przez niego polem magnetycznem; natomiast wyrzeczenie o rozchodzeniu się po kołach stwierdza, że dobrze zdawał on sobie sprawę z geometrycznych właściwości pola „konfliktu". Wszystkie wskazówki, dotyczące kierunku odchyleń igły magnetycznej zgadzają się ze znanem prawidłem, podanem wkrótce potem przez Ampère'a.

## Dalszy rozwój elektromagnetyzmu.

W jak szybkim tempie posypały się nowe odkrycia, zapoczątkowane przez Oersted'a, może świadczyć zestawienie następujących dat:

21 lipca 1820 Oersted odkrywa odchylenie igły magnetycznej przez prąd.

25 września 1820 Arago odkrywa magnesujące działanie prądu; później, na propozycję Laplace'a, wzmacnia to działanie przez spiralne nawinięcie drutu i buduje pierwszy elektromagnes.

25 września 1820 Ampère odkrywa działanie prądu na prąd i stwarza elektrodynamikę.

We wrześniu 1820 Schweigger podaje zasadę multyplikatora.

Jesienią 1820 Biot i Savart formułują ilościowe prawo działania prądu na biegun magnetyczny.

10 i 11 listopada 1820 Biot i Davy, niezależnie od siebie, otrzymują namagnesowanie żelaza zapomocą iskry.

14 grudnia 1820 Seebeck daje dokładny opis działania magnetycznego prądu.

W tym samym roku 1820 de la Rive obserwuje powstawanie łuku elektrycznego (łuku Volty).

Rok 1821 przynosi zrealizowanie przez Faraday'a ruchu wirującego przewodnika naokoło magnesu, odkrycie prądów termoelektrycznych przez Seebecka i wynalazek igły astatycznej przez Ampère'a.

A. A. DE LA RIVE (1801—1873), profesor fizyki uniwersytetu w Genewie. Znany ze swych prac nad źródłem i własnościami prądów galwanicznych, oraz z odkrycia t. zw. łuku Volty.

TOMASZ JAN SEEBECK, urodzony w Rewlu w 1770 roku, spędził życie kolejno w Getyndze, Jenie( gdzie pracował razem z Goethe'm), Bayreucie i Berlinie. Początkowo zajmował się optyką, badał barwy, otrzymywane przy interferencji światła spolaryzowanego, obserwował polaryzację światła dziennego, odkrył nierównomierność rozkładu ciepła w widmie. Później pracował nad elektrycznością,

badając pole magnetyczne prądu i odkrywając zjawiska termoelektryczne.

(Życiorysy Biot'a i Savart'a ob. Akustyka; Arago — ob. Optyka).

Wynalazek Schweiggera polega na tem, że drut, przeprowadzony najpierw ponad igłą magnetyczną, zostaje następnie zagięty i przechodzi pod igłą; działania prądu w obu tych odcinkach na igłę wzmagają się wzajemnie. Utworzoną w ten sposób pętlę można powtórzyć wielokrotnie i otrzymuje się zwój, nazwany przez wynalazcę multyplikatorem, a dziś nazywany cewką.

Multyplikator i igła astatyczna Ampère'a (ob. str. 77) stanowią zasadnicze elementy galwanometrów — przyrządów do mierzenia słabych prądów. W r. 1825 Nobili połączył obie zasady; od tej pory zbudowano cały szereg galwanometrów o ruchomej igle, nadając im coraz większą czułość, lecz nie zmieniając zasadniczego pomysłu.

W r. 1824 Arago zauważył: 1) że igła magnetyczna, wprawiona w wahanie, uspakaja się bardzo szybko, gdy znajduje się nad masą metalu, 2) że igła, pod którą wprawiano w obrót krążek metalowy, odchylała się w kierunku obrotu krążka. Ampère powtórzył to doświadczenie, biorąc solenoid zamiast igły magnetycznej; lecz dopiero Faraday objaśnił te zjawiska „magnetyzmu rotacyjnego" wzbudzaniem prądów indukcyjnych w masie metalu.

Poglądy Oersted'a zawierają w mglistej formie wyczucie kształtu linij pola magnetycznego, wzbudzonego przez prąd; linje te mają istotnie postać kół. Pojęcie linij pola jeszcze nie istniało — wprowadził je dopiero Faraday, — a hipotezy Oersted'a nie nadawały się do ścisłego ujęcia. Zostały one zastąpione jeszcze w tym samym roku 1820 przez jasne sformułowanie Biot'a i Savart'a. Wprowadzili oni siły, wywierane przez elementarne odcinki obwodu na biegun magnetyczny; zależą one od tych elementów w sposób, analogiczny do prawa Coulomb'a, lecz skierowane są nie wzdłuż łączącej je linji, ale prostopadle i do tej linji i do kierunku prądu. Podział przewodnika z prądem na poszczególne elementy, działające na magnes, niezależnie jeden od drugiego — jak to założyli Biot i Savart — jest wybiegiem sztucznym, nie liczącym się z tem, że obwód stanowi pewną całość, i że ten sam prąd przebiega jednocześnie wszystkie elementy. Pojęcie pola magnetycznego daleko głębiej wnika w istotę zjawiska, a jednak prawo Biot'a i Savart'a pozostało trwałym dorobkiem nauki: pozwala ono bardzo prosto roz-

wiązywać poszczególne zagadnienia, obliczać wzajemne oddziaływanie magnesów i obwodów w różnych przypadkach, nasuwających się w związku z rozważaniami teoretycznemi lub z zastosowaniami praktycznemi. Na prawie Biot'a i Savart'a oparł Weber określenie bezwzględnej, elektromagnetycznej jednostki natężenia prądu oraz teorję busoli stycznych, której pierwszy pomysł dał Pouillet.

Dalszym etapem w rozwoju elektromagnetyzmu było stwierdzenie i zanalizowanie przez Ampère'a wzajemnego oddziaływania dwóch obwodów oraz różnych części jednego i tego samego obwodu.

---

## ANDRZEJ MARJA AMPÈRE.

*(1775 — 1836).*

Znakomity fizyk i matematyk, urodził się w Lyonie. Od dzieciństwa już okazywał niezwykłe zdolności; nie znając jeszcze cyfr, liczył zapomocą kamyków i wykonywał tą drogą zawiłe rachunki. W latach chłopięcych pochłonął całą bibljotekę ojcowską, nawet Encyklopedję przeczytał w całości, a po latach czterdziestu mógł jeszcze całe ustępy z niej cytować dosłownie. Chociaż zamiłowania matematyczne obudziły się w nim wcześnie i, jak sam mawiał, mając lat 18 tyle właśnie umiał matematyki, co i pod koniec życia, to nie zasklepiał się w tej specjalnej dziedzinie, lecz ogarniał umysłem szerokie zakresy twórczości ludzkiej, zajmując się filozofją, naukami przyrodniczemi, historją, a nawet poezją, wreszcie, mając lat 18, stworzył sztuczny język międzynarodowy. Żywa i wrażliwa natura Ampère'a została do głębi wstrząśnięta śmiercią ojca, który w r. 1793 zginął na szafocie z wyroku trybunału terorystycznego. Z głębokiego przygnębienia, w jakie popadł, wyrwały go listy Rousseau o botanice; zamiłowanie do wiedzy zbudziło się z uśpienia, a reszty dokonała miłość, jaką powziął do spotkanego na wycieczce botanicznej dziewczęcia; w trzy lata później, w r. 1799, panna została jego żoną, lecz tylko 5 lat trwało ich szczęście. Śmierć żony rzuciła znowu na Ampère'a cień smutku i apatji, który go już nie opuszczał do końca życia. Ten stan przygnębienia nie przeszkadzał mu jednak w twórczości naukowej. Pierwsza praca Ampère'a o matematycznej teorji gry otworzyła mu drogę do sławy i zaszczytów, po której odtąd kroczył szybko. Kolejno profesor uniwersytetu w Lyonie, docent i profesor analizy

w Szkole Politechnicznej w Paryżu, profesor fizyki w Collège de France, w r. 1814 był już członkiem Instytutu Francuskiego oraz wielu towarzystw naukowych zagranicznych. Głównym tytułem jego sławy naukowej stały się jednak późniejsze jego prace nad siłami elektrodynamicznemi. Zapoznawszy się 11 września 1820 roku z pracą Oersted'a, już 18 września przedstawia Akademji własną rozprawę, w której, zamiast ciężkich określeń duńskiego fizyka, daje swe własne, słynne prawidło kierunku odchylenia igły magnetycznej, oraz stwierdza wzajemne przyciąganie i odpychanie prądów elektrycznych, zależnie od tego, czy kierunki ich są zgodne, czy przeciwne. Użyty przez niego typ przyrządu, znany pod nazwą stolika Ampère'a, do dziś służy do wykazywania działania wzajemnego prądów elektrycznych. Dalsze doświadczenia następowały jedne po drugich; stwierdził niemi Ampère, że solenoid, po którym przebiega prąd elektryczny, zachowuje się jak magnes, że, między innemi, zawieszony swobodnie, ustawia się osią swą w płaszczyźnie południka magnetycznego. Stąd wyprowadził wniosek, że zjawiska magnetyzmu ziemskiego polegają na działaniu prądów, okrążających kulę ziemską, a magnetyzm magnesów stałych jest spowodowany obecnością prądów, okrążających cząsteczki (ob. str. 81—82). W roku 1823 ogłosił „Teorję matematyczną zjawisk elektrodynamicznych, wyprowadzoną jedynie z doświadczenia", w której wykazał matematycznie, że wszystkie znane przypadki oddziaływania prądów i magnesów dają się wyprowadzić z jednego tylko prawa zasadniczego elektrodynamiki, rządzącego przyciąganiem wzgl. odpychaniem oddzielnych, nieskończenie małych elementów prądu; obserwowane przez nas siły wynikają z sumowania tych sił elementarnych.

Ampère był pierwszym, który rzucił myśl zbudowania telegrafu elektromagnetycznego; proponował w tym celu użycia tylu drutów, ile jest liter w alfabecie; prąd, puszczony ze stacji wysyłającej, poruszałby odpowiednie igły magnetyczne na stacji odbierającej. Niepraktyczny pomysł Ampère'a zmodyfikowali Gauss i Weber, twórcy pierwszego telegrafu elektrycznego (życiorysy, ob. dział Akustyki). Ampère wynalazł też t .zw. układy astatyczne igieł magnetycznych; pomysł jego polega na tem, żeby na jednym pręciku umieszczać równolegle, jedna nad drugą, dwie igły, namagnesowane mniej więcej jednakowo, lecz skierowane przeciwnie. Moment kierujący, wywierany na taki układ przez magnetyzm ziemski, równa się różnicy momentów, wywieranych na każdą igłę zosobna.

jest zatem bardzo mały; słaby prąd, działający na jednę z tych igieł, wychyli ją więc silniej, niż gdyby była wzięta oddzielnie. Ostatnie lata swego życia poświęcił Ampère dziełu (niedokończonemu) o klasyfikacji nauk. Zmarł w Marsylji w roku 1836.

Rysem charakterystycznym Ampère'a było, między innemi, nadzwyczajne roztargnienie, które dawało powód do licznych przygód. Raz, idąc na wykład przez most na Sekwanie, spostrzegł kamień, który wyglądem swym zwrócił jego uwagę; podniósł go i oglądał uważnie, a przypomniawszy sobie, że może być już dość późno, wyjął z kieszeni zegarek; widząc, że czas iść dalej, pospiesznie kładzie kamień do kieszeni, a zegarek — rzuca do rzeki. Innym razem zaczął rozwiązywać jakieś zagadnienie matematyczne, pisząc kredą na ścianie napotkanego omnibusu; zanim dobrnął do końca rachunku. omnibus ruszył, unosząc z sobą rozwiązanie zadania. Przy wykładzie stale wycierał tablicę własną chustką, a ściereczki używał jako chustki do nosa i chował ją potem do kieszeni.

O metodzie badań Ampère'a patrz uwagi Maxwell'a o nim i o Faraday'u, umieszczone po wyjątkach z dzieł Faraday'a.

### Wykład metodyczny zjawisk elektrodynamicznych i praw, rządzących temi zjawiskami [1]).

Porządek, w jakim rozmaite fakty, odnoszące się do pewnej gałęzi fizyki, ukazują się swym odkrywcom, zależy najczęściej od okoliczności przypadkowych, rzadko się więc zdarza, by zgadzał się on z porządkiem, odpowiednim dla wykładu metodycznego tych faktów Ta uwaga stosuje się zwłaszcza do nowych własności przewodników woltaicznych, jakie znaleźli pp. Oersted, Arago, Ampère, Faraday i inni: ilość faktów, które odkryli, oraz tych faktów, związanych z nimi, które zawdzięczamy innym fizykom, jest dziś dostatecznie wielka, abyśmy je mogli przedstawić w porządku, wynikającym w sposób naturalny z ich wzajemnej zależności; to właśnie zamierzamy uczynić w niniejszym artykule.

I. Pierwszym w porządku naturalnym wydaje się nam fakt, który przepowiedział p. Ampère 24 czerwca 1822 r. w Akademji Nauk, jako wynikający z jego wzorów, a który został sprawdzony doświadczalnie dopiero następnej jesieni; jest to odpychanie się wzajemne

---

[1]) „Exposé méthodique des phénomènes électro-dynamiques et des lois de ces phénomènes". Paris 1823.

wszystkich części prądu elektrycznego [1]. To właśnie zdaje się być źródłem wszelkich innych własności prądów elektrycznych...

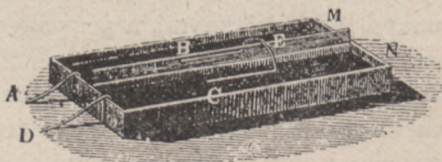
II. Jeśli... uważać dwie przyległe części prądu elektrycznego, odpychające się nawzajem, za dwa boki kąta rozwartego, to rzecz widoczna, że, jeśli boki tego kąta będą się mogły obracać około wierzchołka, to prąd elektryczny będzie przebiegał po jednym z boków, zbliżając się do wierzchołka, po drugim — oddalając się od niego. Przy tem położeniu dostrzegamy, że to samo odpychanie zachodzi pomiędzy obu bokami kąta tak, że, jeśli jeden z nich jest ruchomy, to obróci się dokoła wierzchołka, oddalając się od drugiego. Ten fakt dowodzi, że wspomniane odpychanie działa na odległość, a nie wyłącznie pomiędzy przyległemi częściami prądu. Działanie pomiędzy dwiema nieskończenie małemi częściami dwóch prądów skierowane jest zawsze wzdłuż łączącej je linji.

III. To samo zjawisko zachodzi, jeśli dwie części prądu elektrycznego, działające jedna na drugą, znajdują się w różnych płaszczyznach, o ile tylko jeden z tych prądów płynie wciąż zbliżając się, a drugi — oddalając się od wspólnej prostopadłej, mierzącej najmniejszą odległość pomiędzy ich kierunkami.

IV. To samo zachodzi jeszcze i wtedy, gdy kąt, wytworzony przez te kierunki, staje się równym zeru, t. j. gdy prądy przebiegają wzdłuż dwóch linij równoległych w odwrotnych kierunkach.

V. Jeśli zmienić kierunek jednego z prądów w poprzednich doświadczeniach, to odpychanie przejdzie w równe mu przyciąganie; zatem dwa prądy przyciągają się, bądź płynąc wzdłuż dwóch boków kąta płaskiego lub wzdłuż dwóch prostych wichrowatych, razem zbliżając się lub razem oddalając od wierzchołka albo od wspólnej prostopadłej, — bądź płynąc wzdłuż dwóch linij równoległych, poruszając się przytem w jednym i tym samym kierunku.

VI. Zbyteczną jest prawie uwaga, że, gdyby zmienić jednocześnie kierunki obu prądów, ich działania pozostałyby takie same, jak przedtem...




Rys. 18.
Odpychanie wzajemne elementów prądu.

[1]) Zjawisko to wykazali Ampère i de la Rive. Na rtęci, wypełniającej podzielone na 2 części naczynie (rys. 18), pływa wygięty drut żelazny *BEC* tak, że prąd elektryczny płynie przez rtęć *A* do *B*, tu przechodzi do drutu i powraca rtęcią od *C* do *D*. Wzajemne odpychanie pomiędzy *AB* i *BE* oraz pomiędzy *EC* i *CD* wywołuje ruch drutu *BEC* ku końcowi naczynia *MSC*.

X. Ostatnią konsekwencją, wypływającą z tych rozważań, jest działanie przewodnika nieograniczonego, dążące do skierowania przewodnika ruchomego tak, aby stał się doń równoległym i aby oba prądy płynęły w jednym kierunku — o ile prostopadła wspólna dla kierunków obu przewodników przechodzi przez środek przewodnika ruchomego, i o ile ten może się obracać swobodnie około tej prostopadłej...

XV. Prądy, wytwarzane wewnątrz ogniwa przez siły elektromotoryczne jego części składowych, oraz prądy, przechodzące przez wodę zakwaszoną, tworzącą część obwodu woltaicznego, działają ściśle w ten sam sposób, jak i prądy elektryczne w drutach przewodzących.

XVI. Kula ziemska działa zupełnie tak, jak gdyby płynęły w niej prądy elektryczne od wschodu na zachód w kierunkach, z których średni tworzyłby to, co nazywamy równikiem magnetycznym; wystarczy więc zbadać, jak działają prądy, rozłożone w sposób wzmiankowany, aby móc przewidywać zjawiska, jakie kula ziemska wywołuje, przyciągając, odpychając lub wprawiając w bezustanny obrót przewodniki ruchome...

XVIII. Można naśladować wszystkie działania, wywierane przez kulę ziemską na przewodniki, zapomocą paska z blachy miedzianej, zwiniętego w linję śrubową, którego koniec powraca wzdłuż osi spirali, aby prąd tej części mógł zobojętniać działanie, wywierane przez rzuty zwojów spirali równoległe do osi [solenoid].

XIX. Koniec tej spirali, którego położenie względem prądów w zwojach jest takie, jak położenie bieguna południowego ziemi względem prądów, opływających kulę ziemską od wschodu do zachodu, działa tak, jak ten biegun; drugi koniec tej samej spirali działa tak samo, jak biegun północny ziemi. Stąd stosujemy do końców spirali nazwy bieguna południowego i północnego.

XX. Z praw działania wzajemnego przewodników woltaicznych wynikają następujące zjawiska: dwie spirale będą się odpychały biegunami jednoimiennymi, a przyciągały różnoimiennymi, niezależnie od położenia osi obu spirali względem siebie; przewodnik prostolinjowy nieograniczony, umieszczony naprzeciw środka spirali, powinien ją tak skierować, aby jej oś wytworzyła kąt prosty z kierunkiem przewodnika i aby jej biegun południowy znalazł się na lewo od prądu, przepływającego przez przewodnik[1]; w tem położeniu przewod-

[1]) Ampère, podobnie jak wielu fizyków francuskich, nazywa biegunem północnym magnesu ten, który zwraca się ku południowemu biegunowi ziemi; w ten


Institut Royal
de
France
AMPERE,
(André-Marie)
Membre de la Légion d'honneur, etc

nik przyciąga spiralę, odpycha ją zaś wtedy, gdy jej biegun południowy znajduje się na prawo od prądu...

XXI. Jeśli wewnątrz spirali, przez którą przepływa prąd elektryczny, umieścić pręt stalowy, to można spostrzec, że natężenie zjawiska, wywołanego przez spiralę, wzrasta w tej części, w której znajduje się pręt, zjawisko pozostaje jednak niezmienionem pod każdym innym względem; po wyjęciu ze spirali pręt zachowuje wszystkie jej własności i może ich następnie, podobnie jak spirala, udzielać innym prętom; jeśli do końców pręta zastosujemy nazwy bieguna południowego i północnego, odpowiednio do biegunów spirali, to dwa tak sporządzone pręty będą się odpychały biegunami jednoimiennymi, a przyciągały różnoimiennymi...

I w innych objawach istnieje najzupełniejsza analogja pomiędzy solenoidami i prętami magnetycznymi.

Większość tych faktów była znana oddawna, ale nie podejrzewano wówczas istnienia zjawisk, związanych z działaniem przewodnika woltaicznego: działanie to zostało, jak wiadomo, odkryte przez Oersted'a.

XXII. Prąd elektryczny prostolinjowy, umieszczony obok pręta stalowego, prostopadle do jego osi, udziela mu tych samych własności, ale działanie jego jest znacznie słabsze od działania spirali — przy innych warunkach niezmienionych.

Prądy ziemskie też magnesują żelazo, wskutek tego niektóre rudy żelazne mają własności magnetyczne i nazywają się magnesami naturalnymi; były one — przed odkryciem magnesujących własności prądu elektrycznego — jedynemi źródłami magnetyzmu.

XXIV. Pręt stalowy, obdarzony dopiero co wymienionemi własnościami, jest tem, co nazywamy *magnesem;* wszystkie zjawiska, wywołane przez kawałki stali, posiadające te własności, sprowadzają się natychmiast do wzajemnego oddziaływania prądów woltaicznych, jeśli przypuścimy, że naokoło cząsteczek magnesu obiegają prądy elektryczne w płaszczyznach, które w pobliżu środka tych magnesów są prostopadłe do osi, podobnie jak prądy w spirali, które

---

sposób w pobliżu bieguna północnego geograficznego znajduje się biegun magnetyzmu północnego, gdy przy ogólnie przyjętem określeniu biegunów musimy biegunowi północnemu ziemi przypisać własności południowego bieguna magnetycznego. Opisany przykład odpowiada znanej regule Ampère'a, o ile uwzględnić powyższą uwagę.

jednak pochylają się zapewne w cząsteczkach, położonych poza tą osią, i to tem silniej, im bardziej są oddalone od jej środka.

XXV. Magnesowanie prętów działaniem prądu elektrycznego, czy to zapomocą spirali, czy zapomocą poprzecznego przewodnika prostolinjowego, jest skutkiem nieodzownym tego, że prąd ten skierowuje owe prądy elektryczne, o których istnieniu naokoło cząsteczek metali magnetycznych wszystko świadczyć się zdaje; zwraca on je tak, jak, zgodnie z doświadczeniem i z ogólnemi prawami działania elektrodynamicznego, zwraca część ruchomą przewodnika woltaicznego, tworzącego obwód niemal zamknięty; działania wzajemne prądów cząsteczkowych magnesu dążą do pochylenia płaszczyzn tych prądów względem osi magnesu, w sposób dopiero co wskazany.

XXVI. To pochylenie płaszczyzn, w których leżą prądy cząsteczek magnesu, zdaje się być przyczyną różnicy, jaką Faraday zauważył pomiędzy sposobem działania magnesów i spirali, a która polega na tem, że bieguny magnesów właściwych nie są umieszczone ściśle na jego końcach, gdy tymczasem punkty w spirali, obdarzone temi samemi własnościami, znajdują się dokładnie na końcach spirali...

XXVIII. Sprowadziwszy działania magnesów do praw ogólnych działania przewodników woltaicznych, można już stąd wyprowadzić różne zjawiska, polegające na oddziaływaniu wzajemnem przewodników woltaicznych i magnesów...

---

## Prawo Ohma.

Z niejednakowo dobrego przewodnictwa różnych ciał zdawał sobie sprawę już Volta (ob. str. 63). Davy, Ohm, Barlow, Edmund Becquerel stwierdzili, że natężenie prądu zależy od rozmiarów przewodnika i od metalu, z jakiego jest wykonany. Barlow i Becquerel znaleźli nawet w r. 1825, że dwa druty przewodzą jednakowo, gdy długości ich są w tym samym stosunku, co ich przekroje. Obszerne i systematyczne badania przeprowadził Ohm.

## JERZY SZYMON OHM

*(1789 — 1854).*

Jerzy Szymon Ohm, syn ślusarza z Erlangen, wskutek trudności materjalnych nie mógł ukończyć studjów uniwersyteckich, lecz musiał jąć się pracy nauczycielskiej, którą spełniał świetnie, choć — bez zamiłowania. Na swem skromnem stanowisku poświęcał wolny czas badaniom naukowym. Dobra znajomość matematyki i zdolność jasnego, ścisłego myślenia pozwoliły mu rozwikłać chaotyczne jeszcze wiadomości i poglądy, dotyczące ilościowej strony zjawisk galwanicznych. Oprócz wielu rozpraw ogłosił w r. 1827 dzieło p. t „Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet" (Obwód galwaniczny opracowany matematycznie), w którem sformułował ostatecznie swe słynne prawo. Zajmował się też akustyką (O jego prawie akustycznem patrz t. I, str. 163). Uznanie dla jego zasług przyszło późno; dopiero w r. 1841 londyńskie „Royal Society" przyznało mu medal i stwierdziło wielką doniosłość prac. W r. 1849 powołano go na katedrę. Nazwanie jego imieniem jednostki oporu był hołdem, oddanym zasłudze.

Do pomiarów swych używał Ohm dużego ogniwa Volty; później, na propozycję Poggendorffa, zastąpił je ogniwem termoelektrycznem, które nie polaryzuje się, i dlatego posiada siłę elektromotoryczną niezmienną. Pomiędzy dwa naczyńka z rtęcią, połączone z biegunami ogniwa, włączano badane przewodniki; prąd mierzono zapomocą multyplikatora (ob. str. 75). Szukając wzoru, któryby ujmował wyniki jego pomiarów, a w szczególności zależność natężenia prądu od długości drutu, Ohm pierwotnie mylnie rozwiązał zagadnienie. Dopiero rozumowania teoretyczne naprowadziły go na właściwą drogę. Wyprowadzony w r. 1826 wzór miał postać

$$X = k \frac{w}{l} a$$

gdzie $X$ oznaczano natężenie prądu, $a$ napięcie na końcach przewodu, $l$ i $w$ długość i przekrój przewodu, a $k$ jego przewodnictwo. Wzór obejmuje to, co już rok przedtem znaleźli Barlow oraz Becquerel.

Ohm stwierdził, że prawo jego stosuje się i do przewodników ciekłych, o ile się uwzględni polaryzację, która jest wynikiem wydzielania się produktów elektrolizy na elektrodach.

Drugie prawo, podane przez Ohma, dotyczy spadku napięcia

(potencjału) wzdłuż przewodnika, po którym płynie prąd. Jeśli spadek ten zmierzyć na części $x$ przewodnika o długości $l$, to wynosi on $\frac{x}{l}$. Napięcie mierzył elektroskopem; ten pomiar powtórzony w r. 1848 precyzyjnie przez Kohlrauscha zapomocą czułego elektrometru, ma doniosłe znaczenie, gdyż, stosując do prądów galwanicznych metodę elektrostatyczną, stwierdza tożsamość zjawisk, rozpatrywanych w tych dwóch działach nauki o elektryczności.

Wreszcie Ohm rozwinął dalej swoje prawo, badając jaką przyjmie postać, gdy w obwodzie działa kilka źródeł prądu.

Ohm rozwinął swoje prawo na wypadek, gdy obwód składa się z kilku przewodników i gdy w nim działa kilka źródeł prądu:

„Wielkość prądu w obwodzie galwanicznym jest wprost proporcjonalna do sumy wszystkich napięć, a odwrotnie proporcjonalna do całej zredukowanej długości obwodu, przyczem należy pamiętać, że przez długość zredukowaną rozumie się sumę wszystkich ilorazów, utworzonych z rzeczywistych długości jednorodnych części obwodu przez odpowiadające im przewodnictwa i przez ich przekroje".

„Długość zredukowana" równa się więc sumie wyrazów o postaci $\frac{l}{k.a}$; dzisiejsza terminologja nazywa je oporami odpowiednich części obwodu.

Badania nad prawem Ohma, jego stosowalnością i jego zastosowaniami stanowią całą, obfitą literaturę. Okazało się ono niesłusznem tam, gdzie mamy do czynienia ze zmienną liczbą nabojów poruszanych, jak to ma miejsce przy prądach nasycenia w gazach lub jonizacji przez zderzenie (ob. Jony i elektrony). Zastosowaniem prawa Ohma jest cała niemal dziedzina pomiarów elektrycznych i urządzeń eletrotechnicznych.

Becquerel zauważył, że przewodnictwo metali maleje przy ogrzewaniu, czyli, że opór ich wzrasta. Tę zależność badano wielokrotnie; wyraża się ona wzorem $v=v_0\,(1+at-bt^2)$, który dla małych różnic temperatury można zastąpić przez prostszy: $v=v_0\,(1+at)$. W temperaturach ujemnych opór maleje i staje się bardzo mały w temperaturach bardzo niskich. W r. 1910 Kamerlingh Onnes (ob. dział Ciepła) odkrył, że niektóre metale (znamy ich obecnie 9: ołów, tantal, rtęć, cyna, ind, tal, ruten, tor i gal), doprowadzone do bardzo niskich temperatur, tracą nagle resztki oporu. które odzyskują przy ogrzewaniu lub pod działaniem pola magnetycznego. Te

„temperatury zanikania" są różne dla różnych metali i wahają się pomiędzy 1° i 7,2° skali bezwzględnej (—272° i —266° skali Celsjusza). Zjawisko to nazwano *nadprzewodnictwem.* Opór jest tak znikomo mały, że po jednorazowem wzbudzeniu prądu indukcyjnego w nadprzewodniku nie można w ciągu kilku godzin dostrzec śladu jego słabnięcia; potrzebaby conajmniej paru lat, aby natężenie pierwotne spadło do połowy.

---

## Rozdział VII.

## DZIEŁO FARADAY'A.

### MICHAŁ FARADAY[1]).

*(1791 — 1867).*

PRZYSZŁY wielki uczony urodził się 22-go września 1791 roku jako syn kowala z pod Londynu; skromne warunki bytu nie pozwoliły rodzicom na systematyczne kształcenie dzieci, których było dziesięcioro, i mały Michał już w 13 roku życia musiał się wziąć do pracy zarobkowej, jako terminator u introligatora. Ten zawód to miał w sobie dobrego, że wprowadził młody, żądny wiedzy i doskonalenia się umysł chłopca w zetknięcie z bogactwem wiedzy, zawartem w powierzanych mu do oprawy książkach. To też wkrótce oprawiane tomy przestały być dla niego li tylko przedmiotem pracy zawodowej: zajęła go ich treść, na poznanie której poświęcał godziny, przeznaczone na sen i odpoczynek. Wyborem lektury rządził tu głównie przypadek i nie mogło być mowy o jakiemkolwiek kształceniu systematycznem; gdy jednak pomiędzy innymi chłopiec zapoznał się z kilkoma artykułami z chemji i fizyki, obudziło się w nim żywe i wyraźne zainteresowanie tą właśnie dziedziną wiedzy, którą miał kiedyś tak znakomicie wzbogacić. Odtąd nie opuszczał żadnej sposob ności, aby zbierać, bogacić i pogłębiać swe wiadomości, a w miarę jak je zdobywał, rosło w nim gorące pragnienie, aby samemu móc kiedyś pracować dla nauki. Pociągało go do niej nie tylko zamiłowanie umysłowe i przeczucie własnych sił twórczych; ideałem Faraday'a, który mu przyświecał przez całe życie, była doskonałość moralna; jej urzeczywistnienie widział w służeniu prawdzie, w pracy dla jej zdobycia, a w pracy naukowej przedewszystkiem. Że nauka uszlachetnia ludzi i wznosi ich na wyższy poziom etyczny, że uczony

---

[1]) Materjał do biografji został zaczerpnięty z książki S. P. Thompson'a: „Michael Faradays Leben und Wirken", — tłumaczenie niemieckie z r. 1900.

musi być zarazem człowiekiem czystym i moralnie pięknym — o tem nawet nie wątpił. Zarówno inteligencja jak i zmysł etyczny popychały go ku temu samemu — ku nauce. Ona obiecywała zaspokoić wszystkie jego pragnienia; to też stała się wkrótce jedynym celem jego życia, do którego zdążał z natężeniem wszystkich sił.

Otrzymawszy zaledwie elementarne wykształcenie w szkole, wszystko zawdzięczał własnej pracy i wytrwałości; samouctwo zaprowadziło go z warsztatu introligatorskiego na szczyty sławy naukowej. Czytał książki, jakie tylko mógł zdobyć, robił z nich obszerne i systematyczne wyciągi, skromne fundusze obracał na kupno przyrządów i materjałów, potrzebnych do powtórzenia opisywanych doświadczeń. Jeden z klientów warsztatu, zadziwiony niezwykłą inteligencją i pracowitością chłopca, zaczął dostarczać mu książek i nasunął sposobność wysłuchania kilku odczytów znakomitego chemika ówczesnego Sir Humphry Davy'ego. To zdarzenie stało się punktem zwrotnym w życiu Faraday'a; postanowił skorzystać z nadarzonej sposobności i spróbował urzeczywistnić swe marzenia o służeniu nauce; opracowawszy starannie i opatrzywszy w rysunki wykłady Davy'ego, posłał je uczonemu wraz z listem, w którym, opisawszy swoje położenie, prosi go o umożliwienie mu pracy dla nauki, choćby na najskromniejszem stanowisku. Davy, którego zdumiało wierne oddanie jego myśli przez niewykształconego chłopca, zawezwał go do siebie, a w parę miesięcy później (w r. 1813) ofiarował mu miejsce laboranta przy Instytucie Królewskim w Londynie [1]) z obowiązkiem pomagania Davy'emu przy pracach naukowych, a wszystkim wykładającym w Instytucie przy wykładach. Faraday znalazł tu bogate pole do zaznajomienia się nietylko z metodami badania doświadczalnego i ze sztuką demonstrowania, w której okazał niezwykłą zręczność, ale i do zapoznania się ze sztuką wykładania, której tajemnice z właściwą sobie bystrością szybko przeniknął. Dalszej sposobności do uczenia się, obserwowania i zapełniania w ten sposób braków wykształcenia dostarczyła mu podróż do Francji i Włoch, którą odbył w charakterze naukowego asystenta Davy'ego. Widok nowych miast i krajów, nieznane obyczaje, ob-

[1]) Instytut Królewski (Royal Institution), założony w r. 1799 jako rodzaj szkoły technicznej, przekształcił się z czasem na towarzystwo naukowe, które utrzymuje dla swych członków bibljoteki i pracownie, ogłasza ich prace, organizuje odczyty i wykłady; mianuje też profesorów, ale obowiązkowe ich zajęcia ogranicza do minimum, pozwalając obracać cały niemal czas na poszukiwania naukowe; w Instytucie prowadzili badania Davy, Faraday, Tyndall, Dewar i w. i.

cowanie z ludźmi tej miary co Volta, Ampère, Arago, Dumas, Gay-Lussac rozszerzyło jego horyzonty umysłowe. Tylko stosunki z Davy'm przyczyniały mu niemało zgryzoty. Wbrew umowie, spadły nań podczas podróży obowiązki osobistych posług przy profesorze i jego żonie; nadto nietakt pani Davy, która starała się na każdym kroku upokarzać młodego sekretarza, uczynił dlań stosunki tak nieznośnymi, że musiał użyć całego hartu, aby wytrwać do końca podróży.

Po powrocie Faraday oddał się całkowicie zajęciom naukowym; były to narazie drobne badania chemiczne i fizyczne, związane z tematami, opracowywanymi przez Davy'ego. Ale w miarę zdobywania wprawy i zagłębiania się w naukę rosła wiara we własne siły, i już rok 1821 przynosi poważne odkrycie: Faraday'owi udało się urzeczywistnić poszukiwane od dość dawna krążenie ustawiczne ruchomej części prądu dokoła magnesu, jako osi. Pobudką do tych poszukiwań były nieudane próby, przedsiębrane w tym kierunku przez Wollaston'a w pracowni Davy'ego, co nawet ściągnęło na Faraday'a zarzut plagiatu; uwolnił się od niego dzięki temu, że, dowiedziawszy się o zarzucie, natychmiast udał się do Wollaston'a i w sposób szczery i otwarty wyjaśnił sprawę. W r. 1823, idąc za wskazówką Davy'ego, Faraday skrapla chlor i stwarza metodę skraplania, która polega na jednoczesnem oziębianiu gazu i poddawaniu go wysokim ciśnieniom; ta metoda stała się następnie wzorem dla wszystkich dalszych prób w tym kierunku [ob. tom I, Ciepło].

Ucząc się sam, Faraday nie omieszkał uczyć i innych; zapisawszy się do koła samokształcenia, złożonego z młodych ludzi, stał się duszą koła, wtajemniczając pracujących zawodowo towarzyszy zarówno w zdobycze naukowe fizyki i chemji, jak i w sposoby zdobywania wiedzy, których znajomość zawdzięczał długim latom samouctwa. Zarówno w kółku tem, jak podczas podróży, jak i wszędzie, gdzie się stykał z ludźmi, zdobywał ich przyjaźń swem usposobieniem wesołem i pogodnem, serdeczną otwartością, prostotą, skromnością i szlachetnością charakteru. Czar jego pogodnego i ujmującego obejścia pociągał i zjednywał serca wszystkich.

Wraz z postępującemi pracami naukowemi rosło i uznanie dla ich twórcy, i w r. 1823 przedstawiono go jako kandydata na członka Królewskiego Towarzystwa Nauk (Royal Society of Science) najwyższej instytucji naukowej Anglji. Ówczesny prezes T-wa Davy, zazdrosny o rosnącą sławę swego podwładnego, sprzeciwił się gorąco

tej kandydaturze. Faraday zachował w całej sprawie takt i godność, jakie cechowały wszystkie jego postępki; oto, jak sam opowiada rozmowę z Davy'm:

„Sir H. Davy powiedział mi, że muszę cofnąć swą kandydaturę. Odrzekłem, że ponieważ sam jej nie stawiałem, więc nie mogę jej też wycofać; ci, co mnie proponowali, są za nią odpowiedzialni. Mam zatem wpłynąć na nich, aby ją wycofali, powiedziałem. Wiem, odrzekłem, że tego nie uczynią. Na to on: „Ja, jako prezes, mogę to uczynić". Odpowiedziałem, że jestem głęboko przekonany, iż Sir Humphry Davy uczyni tylko to, co będzie się zgadzało z dobrem Towarzystwa Nauk".

Dzięki zabiegom przyjaciół trudności stawiane przez Davy'ego zostały usunięte, i 33-letni Faraday został przyjęty na członka. Pomimo przykrości, doznanych od Davy'ego tak w tym wypadku, jak i podczas podróży, nie zachował do swego mistrza ani cienia żalu; pamiętał, co mu zawdzięczał, czcił w nim wielkiego uczonego i zawsze odzywał się o nim z najwyższą czcią i uwielbieniem, z oburzeniem odpierając każdą aluzję do nieszlachetnego postępku Davy'ego.

Niewielki dochód, jaki przynosiła pensja Instytutu, zaledwie wystarczająca na skromne utrzymanie Faraday'a i żony, którą był pojął w r. 1821, pomnażał, wykonywując analizy chemiczne i występując w roli rzeczoznawcy. Wziętość jego na tem polu wciąż rosła i obiecywała bogaty dochód, ale nadzieje dobrobytu go nie skusiły; przeciwnie, widząc, że zajęcia zarobkowe zabierają mu drogi czas i odciągają od badań naukowych, porzucił zupełnie tę pracę, decydując się raczej na niedostatek, niż na sprzeniewierzenie się idei swego życia — służbie dla nauki. Jego położenie finansowe poprawiło się dopiero w r. 1835 wskutek przyznania mu stałej pensji przez rząd wielkobrytyjski, o co postarali się przyjaciele Faraday'a. Lord Melbourne, ówczesny minister skarbu, udzieliwszy mu posłuchania, a nie zdając sobie sprawy, kim jest skromny człowiek, stojący przed nim, wyraził się szorstko o takim sposobie popierania nauki; wówczas Faraday, skłoniwszy się, wyszedł, zdecydowany nie przyjąć pensji. „Minister musiałby mnie przeprosić listownie. Czyż mogę nawet myśleć o tem, aby odeń tego wymagać?" — były jego słowa, dosadnie malujące charakterystyczne połączenie skromności z wysokiem poczuciem godności osobistej. Sprawa została załagodzona, i wielki fizyk mógł już odtąd oddawać się swym badaniom bez troski o chleb powszedni.

W r. 1825 Faraday został mianowany dyrektorem pracowni Instytutu Królewskiego. Pracował w tym czasie nad mnóstwem szczegółowych zagadnień chemicznych, a bogate swe doświadczenie laboratoryjne zawarł w praktycznym podręczniku p. t. „Chemical Manipulations". Uwagę jego zaczęły coraz bardziej zajmować zjawiska elektryczne. Już w r. 1822 pomieścił następujące zdanie w swym dzienniku laboratoryjnym, w którym notował wyniki doświadczeń, oraz nasuwające się zagadnienia i pomysły przyszłych prac: *„Zamienić magnetyzm na elektryczność"*. Odkrycia Oersted'a, Ampère'a, Arago i innych „zamieniały elektryczność na magnetyzm", więc i zamiana odwrotna powinna być możliwa. Faraday kilkakrotnie zabierał się do tego zagadnienia, a tak głęboko był przekonany o słuszności swych przypuszczeń, że nie zrażał się niepowodzeniem, i wreszcie w r. 1831 mógł ogłosić swe pierwsze wielkie odkrycie, dotyczące prądów indukcyjnych. Od chwili pierwszego powodzenia zaledwie 10 dni potrzebował na ukończenie badań. Prądy indukcyjne nasunęły mu myśl zbudowania maszyny, wytwarzającej prądy elektryczne zapomocą indukcji; zbudował istotnie kilka takich przyrządów, które zasługują na miano pierwszych maszyn magnetoelektrycznych. Wyniki badań ogłosił jako pierwszą serję „Badań doświadczalnych nad elektrycznością", za którą z kolei pojawiały się dalsze. Wyjątki z tej serji pomieszczamy poniżej.

Drugiem zagadnieniem, które zajmowało wówczas umysł Faraday'a, była podawana często w wątpliwość jedność elektryczności, pochodzących z rozmaitych źródeł. Faraday poddał tę sprawę obszernemu i drobiazgowemu zbadaniu doświadczalnemu; badania jego wykazały między innemi, że elektryczność z machiny elektrycznej jest w stanie odchylać igłę magnesową i powodować rozkład chemiczny, że wogóle elektryczności z ogniwa, z machiny, z połączeń termoelektrycznych, nawet z ryb elektrycznych różnią się od siebie tylko ilościowo. Wynik tych dociekań ujął w zdanie: „Elektryczność, bez względu na to, z jakiego źródła pochodzi, jest w istocie swej jedna i ta sama".

Obserwacje przewodnictwa elektrycznego materji doprowadziły Faraday'a do obszernych i długich badań nad elektrolizą. Rozkład ciał zapomocą elektryczności był znany niemal od chwili zbudowania stosu elektrycznego przez Voltę; wielu fizyków i chemików pracowało w tym kierunku; obserwacje były liczne, ale chaotyczne. Faraday uporządkował całą tę dziedzinę; zbadał mnóstwo wypadków rozkładu, odróżniając właściwą elektrolizę od towarzyszących jej

reakcji wtórnych; stwierdził, że elektrolit, aby został rozłożony, musi się znajdować w stanie ciekłym; stworzył terminologję, którą posługujemy się i obecnie; posunął dalej hipotezę wędrówki jonów; a przedewszystkiem zbadał ilościową stronę zjawiska, ujętą w 2 dobrze znanych prawach elektrolizy. Z praw tych wyciągnął następujący ważny wniosek:

„Według niej (teorji) ciężary równoważne ciał są to poprostu te ich ilości, które zawierają jednakowe ilości elektryczności, albo z natury swej mają równe siły elektryczne... Albo, jeśli przyjmiemy teorję atomową i jej sposób wyrażania się, to atomy ciał, równoważne sobie pod względem zwykłego działania chemicznego, są związane w stanie naturalnym z równemi ilościami elektryczności"[1]). To zdanie, wypowiedziane w r. 1834, zawiera już zarodek współczesnej atomowej teorji elektryczności. W tym samym jeszcze roku odkrywa Faraday zjawisko samoindukcji. Lata 1835—37 poświęca badaniom nad influencją elektrostatyczną; kierując się własnymi poglądami, jakie sobie wytworzył o naturze zjawisk elektrycznych[2]), przepowiedział i wykrył istnienie zupełnie nowego zjawiska — wpływu dielektryków na przebieg influencji, który się wyraża istnieniem t. zw. indukcji właściwej czyli stałej dielektrycznej. Badając różne typy rozbrajania machiny elektrycznej, robił między innemi doświadczenia nad wyładowaniem w gazach rozrzedzonych, przyczem odkrył istnienie przestrzeni ciemnej, dzielącej katodę od świecącego gazu; dziś nosi ona nazwę ciemni Faraday'a.

W r. 1840 powraca do zagadnień elektrochemicznych, poszukując, gdzie leży źródło prądu w ogniwie elektrycznem; rozumowaniem i licznemi doświadczeniami dowodził błędności kontaktowej teorji Volty, widząc źródło „siły" elektrycznej w procesach chemicznych, jakie zachodzą w ogniwie. Pomimo, że zasada zachowania energji została po raz pierwszy wypowiedziana dopiero w r. 1847, Faraday rozumie ją już doskonale, a argumenty jego na niej się właściwie opierają: „nigdy się nie zdarza, aby siła powstawała lub została stworzona bez odpowiedniego wyczerpania czegoś, co ją wywołuje".

Już w r. 1834, w trakcie swych badań nad elektrolizą pisał: „Gdyby siła elektryczna, która utrzymuje w połączeniu gran wody, czyli ta, która zmusza tlen i wodór do wiązania się we właściwym sto-

[1]) „Badania doświadcz.", serja VII, Nr. 869.
[2]) Ob. w tekście Nr. 1161—1167, na str 112.

sunku w wodę, mogła być zamieniona na prąd elektryczny, to odpowiadałby on dokładnie takiemu prądowi, który jest potrzebny do rozłożenia na składniki tegoż samego grana wody"; zaś w r. 1838 wygłosił odczyt, w którym mówił wprost o „przemienności siły i jej niezniszczalności"[1]).

Olbrzymi wysiłek, potrzebny do dokonania trzech tak kapitalnych odkryć, stanowiących podwaliny całej współczesnej nauki o elektryczności, wyczerpał siły Faraday'a; przerywa więc na lat kilka swą pracę odkrywcy, poświęcając ten czas pogłębianiu i usystematyzowaniu pojęć, zdobytych w okresie wytężonej pracy twórczej. Od r. 1845 zaczyna się nowa serja badań, którą rozpoczyna odkrycie skręcenia magnetycznego płaszczyzny polaryzacji; to potwierdziło istnienie oddawna przeczuwanego przez Faraday'a związku pomiędzy światłem a elektrycznością i magnetyzmem; napróżno poszukiwał dwóch innych zjawisk: wpływu izolatora, umieszczonego w polu elektrycznem, na światło przezeń przechodzące, i wpływu magnesu na światło, odbite od jego powierzchni; obu odkryć dokonał fizyk angielski Kerr: w r. 1875 odkrył podwójne załamanie w polu elektrycznem, a w roku następnym — skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła, odbitego od powierzchni magnesu.

Odkrycie magnetycznego skręcenia pouczyło Faraday'a o powszechności zjawisk magnetycznych. Szukając bezpośredniego potwierdzenia, odkrywa w r. 1845 zjawisko diamagnetyzmu. Zawiesiwszy pręt ze szkła, którego używał do doświadczeń magnetooptycznych, w bliskości biegunów elektromagnesu, zauważył, że przyjmuje on położenie prostopadłe do linij sił magnetycznych, zachowuje się więc odmiennie od żelaza; bliższe zbadanie wykazało, że bieguny magnesu odpychają szkło, zamiast je przyciągać, jak to czynią z żelazem i niklem; tę samą własność posiada wiele innych ciał, którym odkrywca nadał nazwę ciał diamagnetycznych.

Po powtórnej przerwie, spowodowanej wyczerpaniem sił, powrócił w r. 1848 do badań nad magnetyzmem; uderzony był zachowaniem się kryształów bizmutu, które w polu magnetycznem przyjmują określone położenie tak, że oś kryształu ustawia się równolegle do linij sił, pomimo silnie diamagnetycznych własności bizmutu. Dla wyjaś-

---

[1]) Fizyka ówczesna nie odróżniała należycie terminów: siła i praca; pojęcie energji nie było wcale znane; to też zasada zachowania energji nosiła pierwotnie miano prawa zachowania siły. Porównaj rozprawę Helmholtz'a w dziale Ciepła.

nienia tego faktu stworzył pojęcie „siły przewodzącej ośrodka magnetycznego" (por. str. 126), różnej w różnych kierunkach kryształu. Zależność tej wielkości od temperatury, oraz odkryte przezeń własności magnetyczne gazów nasunęły mu myśl wytłumaczenia zmian magnetyzmu ziemskiego przez zmiany temperatury atmosfery, ale myśl ta okazała się błędną.

Zasługi Faraday'a dla nauki o elektryczności byłyby olbrzymie nawet wtedy, gdyby się był ograniczył do samych tylko badań doświadczalnych. Ale oprócz nich zawdzięczamy mu nowe, oryginalne poglądy na istotę zjawisk elektromagnetycznych, poglądy, które narazie nieuwzględnione i zlekceważone, stały się punktem wyjścia wielkiego przewrotu w teorji elektryczności, jaki się zaczął w ostatniej ćwierci ubiegłego stulecia. Pomysł Faraday'a polegał na zastąpieniu działania na odległość, jakie dawniejsze teorje przyjmowały pomiędzy nabojami elektrycznymi, przez działanie bezpośrednie, rozchodzące się wzdłuż linij sił poprzez ośrodek izolujący. Te linje sił, które początkowo uważał za pojęcie czysto geometryczne, ułatwiające orjentację w układzie sił magnetycznych i elektrycznych, stały się dlań z czasem istnościami realnemi o określonych własnościach fizycznych. Faraday posuwał się tak daleko w swej koncepcji, że w odczycie, wygłoszonym w r. 1846, wypowiedział hipotezę, iż zjawisko promieniowania świetlnego polega na drganiach, rozchodzących się wzdłuż linij sił, łączących atomy materji; ta myśl jest tak bliska niektórym nowszym poglądom na istotę światła, że przenikliwość umysłu Faraday'a wydaje nam się wprost zdumiewającą [1]). Początkowo przypuszczał on, że pojęcie linij sił uczyni zbędnem pojęcie eteru, który wówczas uważano jedynie za ośrodek przenoszący światło; dopiero później zmodyfikował swój pogląd, przypuszczając, że właśnie eter może służyć także do przenoszenia sił elektrycznych i magnetycznych [2]). Jest to pogląd, który, przyjęty i rozwinięty przez Maxwell'a, panował długi czas w nauce.

Teoretyczne poglądy Faraday'a na istotę zjawisk elektrycznych okazały się niesłychanie płodnymi. Kierowany nimi, odkrył Faraday istnienie stałej dielektrycznej; Maxwell, opracowawszy je matematycznie, przepowiedział możliwość wytwarzania fal elektro-

---

[1]) Ob. Campbell. Spółczesna teorja elektryczności, tłum. L. Silbersteina, Warszawa 1913, Rozdz. I i II.

[2]) Ob. cytatę, przytoczoną przez Maxwell'a w ustępie, poświęconym elektromagnetycznej teorji światła (str. 141).

magnetycznych, urzeczywistnionych następnie przez Hertz'a, i dał podstawy teorji elektromagnetycznej światła. Dwie inne jeszcze konsekwencje swych poglądów przepowiedział Faraday. Prąd elektryczny polega według niego na przechodzeniu wzdłuż przewodnika nabojów elektrycznych, wraz z należącemi do nich linjami sił; ten sam skutek miałoby poruszanie ciała, obdarzonego nabojem elektrycznym. Ruch tego ciała byłby równoważny prądowi elektrycznemu, płynącemu w tym samym kierunku, powinienby więc, podobnie jak prąd, oddziaływać na magnesy. Ruch linij sił można wywołać innym jeszcze sposobem: wprawiając w ruch dielektryk, w którym wzbudzono pole elektryczne, który więc jest przeniknięty linjami sił.

Pierwszy z tych wniosków sprawdził Rowland przez odkrycie działania magnetycznego, t. zw. prądów konwekcyjnych; słuszność drugiego wykazał Roentgen, stwierdziwszy, że i t. zw. prądy polaryzacyjne wywołują pole magnetyczne [1]).

Serje XXVIII i XXIX „Badań nad elektrycznością", wydane w r. 1851 i 1852, poświęcił Faraday rozważaniu linij sił, stwierdzając, że pojęcie to daje się traktować ilościowo. Natężenie prądu elektrycznego, wzbudzanego w drucie przez indukcję, jest proporcjonalne do ilości linij sił, przecinanych przez drut w ciągu jednostki czasu; więc całkowita ilość elektryczności, jaka przepływa przez drut w ciągu jego ruchu w polu magnetycznem, jest proporcjonalna do liczby linij sił, przeciętych przezeń w tym czasie. Można więc tą drogą, zapomocą prądów elektrycznych, badać natężenie pola magnetycznego czyli gęstość linij sił tego pola. To twierdzenie Faraday'a jest często stosowane w pomiarach magnetycznych, a oparte na niem pojęcie liczby linij sił stanowi podstawę dzisiejszej teorji magnetyzmu i całej elektrotechniki.

Na tych ostatnich dwóch serjach kończy się działalność naukowa Faraday'a; pracuje on jeszcze nad drobiazgami, wykłada, pisze sprawozdania z różnych odkryć, ale nic już nie tworzy; ostatnim jego twórczym pomysłem było badanie w r. 1862, czy umieszczenie źródła światła w polu magnetycznem nie spowoduje zmian w wysyłanem przez nie świetle. Rezultat był ujemny, — dopiero w r. 1897 Zeeman, rozporządzając o wiele potężniejszymi środkami doświadczalnymi, odkrył zjawisko, przeczuwane przez genjalny umysł Faraday'a [2]). To intuicyjne przewidywanie zjawisk i związków świad-

---

[1]) Wyjątki z prac Maxwell'a, Rowland'a i Röntgen'a podajemy poniżej.

[2]) Ob. rozprawę Zeeman'a w dziale Optyki.

czy, jak głęboko wniknął on w istotę badanych zjawisk, jak blisko żyć z przyrodą, która, mogłoby się zdawać, n e miała dla niego tajemnic.

Dwadzieścia dziewięć seryj „Badań doświadczalnych nad elektrycznością" [1]), których najważniejsze tylko rezultaty zdołaliśmy tu zaznaczyć, stanowią prawdziwy skarbiec wiedzy o zjawiskach elektrycznych i magnetycznych. Niema prawie kwestji, którejby nie poruszały; nawet człowiek, dobrze obeznany ze stanem nauki współczesnej, znajdzie w czytaniu pism Faraday'a nietylko prawdziwą przyjemność, ale i rzetelną korzyść: znajdzie w nich źródło wielkiej liczby pojęć i teoryj elektryczności, znajdzie mnóstwo mało znanych i nawpół zapomnianych szczegółów, znajdzie wreszcie nieporównane bogactwo myśli twórczej i przenikliwej.

Sylweta Faraday'a nie byłaby zupełną, gdybyśmy pominęli jeden z bardzo ważnych rysów jego charakteru: głęboką religijność. Rodzice jego należeli do nielicznej sekty sandemanian, dążącej do powrotu do prostoty pierwszych chrześcijan; przy obrzędach obywa się ta sekta bez duchownych — na czele gminy stoją starsi, wybierani z pośród członków gminy. Faraday, który od dzieciństwa uczęszczał na ich proste nabożeństwa, przystąpił w r. 1821 do sekty, po złożeniu obowiązkowego publicznego wyznania grzechów i wiary. Tę samą szczerość i rzetelność, która cechuje jego prace naukowe, okazywał i w życiu religijnem: i tu i tam szukał prawdy; z tem samem skupieniem, z jakiem śledził wywody świetnych uczonych, słuchał kazań swych skromnych współwyznawców. W r. 1840 został obrany na starszego gminy, i odtąd co niedziela miewał kazania w kaplicy. Przekonany, że dzieła Stwórcy świadczą o jego wielkości, badania przyrodnicze uważał Faraday za swój obowiązek religijny. Nie wielu możnaby znaleźć ludzi, których zawód tak doskonale zaspakajałby wszystkie ich potrzeby duchowe; praca naukowa odpowiadała znakomicie jego siłom intelektualnym, poszukiwanie prawdy zgadzało się z jego instynktem moralnym, ceniącym prawdę nadewszystko, a przekonania religijne nietylko nie stawały na drodze jego badaniom, lecz przeciwnie, pobudzały go do nich, jak do spełnienia najświętszego obowiązku.

Genjusz i charakter Faraday'a zdobyły mu najwyższe uznanie i sympatję współczesnych; nie szczędzono mu też ich oznak zewnętrznych. Już w r. 1832 został mianowany doktorem praw uniwersytetu w Oxfordzie z racji pierwszego zjazdu przyrodników angielskich.

---

[1]) W wydaniu książkowem obejmują 3 obszerne tomy i liczą 3241 numerów.

Od Królewskiego Towarzystwa Nauk otrzymał kilka medali za swe prace. W r. 1857 Towarzystwo to ofiarowało mu fotel przewodniczącego — najwyższe odznaczenie, jakie nauka dać mogła, ale Faraday odmówił przyjęcia zarówno tego zaszczytu, jak i dwu innych: stanowiska przewodniczącego Instytutu Królewskiego i tytułu szlacheckiego: „Do końca życia pozostanę zwyczajnym Michałem Faraday'em", były jego słowa. I żadne tytuły nie dodałyby więcej blasku temu imieniu, pod którem czcimy nietylko wielkiego uczonego, ale i jeden z najpiękniejszych, najczystszych charakterów, jakie ludzkość wydała.

Współczesny Faraday'owi słynny chemik francuski Dumas tak go charakteryzuje: „Faraday był wzrostu średniego, żywy, wesoły, o wzroku bystrym, ruchach szybkich i pewnych, niezrównanie zręczny w sztuce eksperymentowania. Dokładny, ścisły, oddany całkowicie swym obowiązkom; gdy w młodości swej przygotowywał wykłady Davy'ego, podziwiano, z jaką ścisłością doświadczenie odpowiadało myśli i słowu profesora. Żył w swej pracowni, pośród swych przyrządów naukowych. Szedł tam rano, a wychodził wieczorem, jak kupiec, który cały dzień przepędza w swym kantorze. Prostota serca, czystość charakteru, gorące umiłowanie prawdy, szczera sympatja dla każdego powodzenia, naiwne uwielbienie dla odkryć innych, a skromność naturalna, gdy chodziło o jego własne odkrycia, wszystko to razem nadawało jego postaci urok nieporównany".

Zakończył swój pracowity i płodny żywot 26-go sierpnia 1867 roku.

## Badania doświadczalne nad elektrycznością [1]).

### SERJA I (rok 1832).

#### Odkrycie prądów indukcyjnych.

1. Zdolność elektryczności statycznej do wywoływania w otoczeniu stanu elektrycznego odwrotnego jest oznaczana ogólnym terminem indukcja; ponieważ został on przyjęty w mowie naukowej, niech będzie wolno zastosować go również w tem samem znaczeniu ogólnem do

---

[1]) „Experimental Researches in Electricity" ukazywały się w 29 serjach pomiędzy r. 1832 a 1852 w Philosophical Transactions. Przekładu dokonano z wydania książkowego.

Podajemy tutaj wyjątki, zawierające 4 kapitalne odkrycia Faraday'a: prądy indukcyjne, prawa elektrolizy, indukcję właściwą i diamagnetyzm. Nie mogąc, dla braku miejsca, w następnych rozdziałach obszernie zobrazować dalszego rozwoju wszystkich działów nauki o elektryczności, zapoczątkowanych przez te odkrycia,

zdolności prądów elektrycznych przeprowadzania ciał sąsiednich ze stanu obojętnego w stan szczególny.

2. Pewne działania indukcji prądów elektrycznych są już znane i opisane; np. działanie magnesujące; spostrzeżenia Ampère'a przy zbliżaniu krążka miedzianego do płaskiej spirali; jego powtórzenie nadzwyczajnych doświadczeń Arago [str. 75] zapomocą elektromagnesów i, być może, jeszcze parę innych. Tymczasem nie wydawało się rzeczą prawdopodobną, aby to miało już wyczerpywać wszystkie zjawiska możliwe dzięki indukcji i prądom elektrycznym...

4. Te rozważania i poczerpnięta z nich nadzieja otrzymania elektryczności ze zwykłego magnetyzmu, skłaniały mnie różnymi czasy do wykonywania doświadczeń nad działaniem indukującem prądów elektrycznych. Niedawno wreszcie doszedłem do wyników rozstrzygających...

5. Zdobyte wyniki opiszę nie w takiej kolei, w jakiej zostały odkryte, ale w takiej, jaka daje najjaśniejszy pogląd na całość.

## I. Indukcja prądów elektrycznych.

6. Drut miedziany około 26 stóp długości i $^1/_{20}$ cala grubości nawinięto wzdłuż linji śrubowej na cylinder drewniany i, aby zwoje jego nie stykały się z sobą, umieszczono pomiędzy nimi sznurek. Następnie całą tę warstwę powleczono perkalem i na nim nawinięto w ten sam sposób drugi drut. Tak nałożono jeden na drugi ogółem dwanaście drutów, każdy przeciętnie długości 27 stóp, nawijając je w jednym i tym samym kierunku. Pierwszy, trzeci, piąty, siódmy, dziewiąty i jedenasty z tych drutów połączono z sobą końcami tak, że tworzyły jeden drut spiralny. W podobny sposób połączono pozostałe druty; ogółem istniały więc dwa druty spiralne, każdy 155 stóp długi, które posiadały ten sam kierunek i ściśle przylegały do siebie, nigdzie się z sobą nie stykając.

7. Jeden z tych drutów połączono z galwanometrem, drugi z dobrze nabitą baterją Volty o dziesięciu parach płyt, każda z nich 4 cale w kwadrat, przytem miedziane były brane podwójnie. Mimo to nie dało się dostrzec najmniejszego odchylenia igły galwanometru.

---

podajemy już tutaj, po każdej serji badań Faraday'a, krótki rys tego, czego dokonano w otwartej przez nią dziedzinie.

Dziejom najważniejszej, zasadniczej koncepcji faradayowskiej — teorji pól elektrycznych i magnetycznych — poświęcono dalsze rozdziały.

Taki sam rezultat ujemny otrzymano, gdy jeden z drutów był żelazny; wogóle w zachowaniu się żelaza i innych metali nie dostrzeżono żadnej różnicy.

10. 203 stopy drutu miedzianego nawinięto w całości na duży kloc drewniany, a pomiędzy jego zwojami drugi drut podobny, tej samej długości, nie dopuszczając jednak zapomocą sznurka do ich bezpośredniego zetknięcia. Jeden z tych drutów połączono z galwanometrem, drugi z dobrze nabitą baterją o 100 parach takich jak w (7). W chwili połączenia drutu z baterją widać było nagłe, ale bardzo drobne działanie na galwanometr, a podobne słabe działanie pokazało się przy przerywaniu tego połączenia. Dopóki jednak prąd elektryczny przepływał przez jeden z drutów spiralnych, nie można było zauważyć ani śladu jakiegokolwiek działania, choć baterja była bardzo silna, jak na to wskazywało rozgrzanie się całego drutu i świetność rozbrojenia przez węgiel drzewny.

11. Powtórzenie tych doświadczeń z baterją o 120 parach płyt nie dało innych wyników. Stwierdzono jednak, że zarówno tu, jak i poprzednio odchylenie igły w chwili łączenia miało zawsze ten sam kierunek, a równie słabe odchylenie przy przerywaniu zetknięcia miało kierunek przeciwny...

18. Przy doświadczeniach poprzednich druty umieszczano blisko siebie, a chcąc otrzymać działanie, łączono drut indukcyjny z baterją. Ponieważ jednak w chwilach zamykania i przerywania łańcucha mogłyby występować jakieś szczególne działania, więc urzeczywistniono indukcję na innej drodze. Kilka stóp drutu miedzianego rozpięto w szerokie zygzaki w kształcie litery W na powierzchni szerokiej deski; drugi drut umocowano w ten sam sposób na innej desce.. Jeden z drutów połączono z galwanometrem, a drugi z baterją Volty. Gdy teraz pierwszą deskę wraz z jej drutem szybko zbliżono do drugiej, igła się odchylała; przy odsuwaniu deski nastąpiło odchylenie w stronę przeciwną. Jeżeli zbliżania i oddalania desek dokonywano zgodnie z wahaniami igły magnetycznej, to stawały się one niebawem bardzo dużemi; ale skoro przestano poruszać drutami, igła powracała wkrótce do zwykłego położenia.

19. Przy zbliżaniu wzajemnem drutów prąd indukowany był skierowany *odwrotnie*, niż prąd indukujący. Przy oddalaniu drutów od siebie prąd wzbudzony miał kierunek *ten sam*, co i prąd wzbudzający. Jeśli druty pozostawały w spoczynkn, to prądu indukowanego nie było.

20. Jeśli w obwód pomiędzy galwanometr (10) a drut spiralny włączono małe ogniwo galwaniczne tak, że igła podlegała stałemu

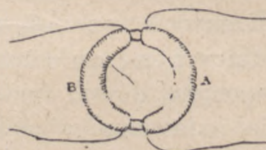
odchyleniu o 30° do 40°, i teraz łączono baterję o 100 parach płyt z drutem wzbudzającym, to zachodziło, jak poprzednio, działanie chwilowe (11); igła jednak powracała natychmiast do położenia poprzedniego i trwała w niem, pomimo że baterja pozostawała wciąż zamkniętą przez drut wzbudzający. Tak było zawsze, bez względu na to, w jaki sposób dokonywano połączenia.

21. Z tego wynika, że prądy, leżące obok siebie, o kierunkach zgodnych lub odwrotnych, nie wywierają na siebie indukcji trwałej, którąby mogła zakłócać ich siłę lub napięcie...

26. Wynikiem indukcji jest wytwarzanie innych prądów, wprawdzie tylko chwilowych, które są równoległe do prądu wzbudzającego, lub przynajmniej do tego dążą... Wszystkie te wyniki zostały otrzymane z przyrządem Volty, którego płyty tworzyły jednę tylko parę [były połączone równolegle].

II. Rozwijanie elektryczności z magnetyzmu.

27. Z okrągłego pręta żelaza miękkiego grubości siedmiu ósmych cala wykonano pierścień o średnicy zewnętrznej sześciocalowej; na część tego pierścienia, wynoszącą dziewięć cali, nawinięto trzy spirale z drutu miedzianego, każdy o długości 24 stopy i o grubości $^1/_{20}$ cala, w sposób opisany poprzednio, tak, że warstwy drutu były izolowane od siebie i od żelaza. Układ tych drutów, które mogły być używane oddzielnie lub w połączeniu, jest oznaczony lit. A na rys. 19. Drugi układ zwojów, nawiniętych w tym samym kierunku co A, złożony z dwóch drutów miedzianych 30 stóp długich i oddzielonych od A na obu końcach przestrzenią wolną, na pół cala szeroką, jest oznaczony przez B.



Rys. 19.
Indukcja prądów.

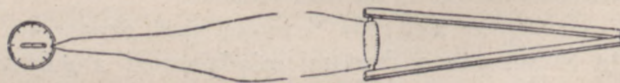
28. Zwoje B połączono drutami miedzianymi z galwanometrem, oddalonym od pierścienia o trzy stopy; spirale A, spojone końcami w jednę linję śrubową — z baterją o dziesięciu parach płyt, po 4 cale w kwadracie. Działanie na galwanometr pokazało się natychmiast i to bez porównania silniejsze, niż poprzednio, kiedy używano baterji dziesięć razy silniejszej *bez żelaza* (10). Ale pomimo, że baterja pozostawała zamkniętą, działanie nie było ciągłe; igła powracała wkrótce do swego położenia naturalnego... Przy przerywaniu połączenia z baterją igła została znów potężnie odchylona i to w stronę przeciwną, niż przedtem...

30. Odchylenie przy zamykaniu wskazywało zawsze na istnienie prądu wzbudzonego wtórnie, skierowanego odwrotnie, niż prąd z baterji; natomiast przy przerywaniu prąd wtórny miał zawsze kierunek zgodny z kierunkiem prądu z baterji...

34. Następnie urządzono doświadczenie tak, aby móc skojarzyć badania poprzednie nad indukcją (6—16) zapomocą prądów woltaicznych z badaniami obecnemi. W tym celu owinięto pusty cylinder tekturowy kombinacją drutów spiralnych, podobną do opisanej w (6). Zawiera ona osiem drutów miedzianych, razem 220 stóp długości; cztery z nich, połączono z sobą końcami i z galwanometrem (7), a cztery pozostałe, nawinięte pomiędzy nimi, również połączono końcami i wyładowano przez nie baterję o 100 parach płyt. Przy takiem urządzeniu działanie na galwanometr było ledwo dostrzegalne (11)... Gdy jednak w rurę tekturową, owiniętą spiralnie drutem, wsunięto cylinder z miękkiego żelaza $^7/_8$ cala grubości i 12 cali długości, prąd indukowany działał na galwanometr potężnie i wywołał wszystkie opisane już zjawiska (30)...

35. Gdy zamiast pręta żelaznego wzięto taki sam pręt miedziany, nie powstawało żadne działanie takie, jakiegoby nie wywierały same tylko druty spiralne...

36. Podobne działania wywołano zapomocą *zwykłych magnesów*. Mianowicie, po związaniu w jednę całość drutów spiralnych, znajdujących się na rurce tekturowej, połączono je z galwanometrem zapomocą dwóch drutów miedzianych o długości pięciu stóp; następnie wstawiono w oś rury cylinder z miękkiego żelaza; teraz dwa pręty magnetyczne, każdy o długości 24 cali, złączono w kształt podkowy, stykając je biegunami przeciwnymi, a bieguny pozostałe



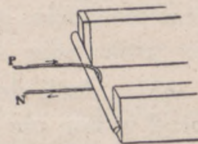
Rys. 20.
Wzbudzania prądów zapomocą magnesów.

stykano z końcami cylindra żelaznego tak, że ten chwilowo stawał się magnesem (rys. 20). Przez odsuwanie i odwracanie prętów magnetycznych można było dowoli niweczyć lub odwracać magnetyzm cylidra żelaznego.

37. Przy stykaniu magnesów z cylindrem igła odchylała się; gdy zetknięcie trwało, igła zachowywała się obojętnie i powracała do

położenia początkowego; przy przerywaniu zetknięcia była znów odchylana, lecz w stronę przeciwną, niż poprzednio, a następnie znów przybierała położenie pierwotne. Gdy przykładano magnesy w położeniu odwrotnem, odchylenia igły były także odwrócone.

38. Odchylenie igły wskazywało, że prąd wtórny, wzbudzany przez nakładanie prętów magnetycznych na cylinder żelazny, posiadał kierunek odwrotny względem takiego prądu, któryby cylindrowi żelaznemu udzielił namagnesowania takiego samego, jakie powstało w nim w rzeczywistości przez zetknięcie z magnesami. Jeśli np. ustawiono biegun znaczony i nieznaczony, jak na rys. 21, prąd w drucie spiralnym miał kierunek taki, jak wskazuje rysunek... Prąd ten magnesowałby pręt żelazny w kierunku przeciwnym, niż zetknięcie z biegunami magnesów; prąd ten porusza się też w kierunku odwrotnym względem prądów, które, według pięknej teorji p. Ampère'a, tworzą magnes, położony tak, jak wskazuje rysunek.



Rys. 21.
Kierunek prądów indukowanych.

39. Pręt z miękkiego żelaza usunięto, a zamiast niego użyto pręta magnetycznego w kształcie cylindra $^3/_4$ cala grubego, a $8^1/_2$ cala długiego. Ten magnes wstawiono jednym końcem w oś drutu spiralnego i, gdy igła galwanometru uspokoiła się, wsunięto go nagle. Igła odchyliła się natychmiast w kierunku takim samym, jak gdyby magnes został dopiero wytworzony jedną z poprzedzających metod (34, 36)...

## SERJA II (r. 1832).

### Uwagi i wyjaśnienia ogólne, dotyczące siły i kierunku indukcji magneto-elektrycznej.

232. Jeśli przez drut przepuszczać prąd elektryczny, to każda część tego drutu jest otoczona krzywemi magnetycznemi, które słabną w miarę oddalania się od drutu i dają się porównać do pierścieni, leżących w płaszczyznach prostopadłych do drutu, a raczej do zawartego w nim prądu. Te krzywe, choć kształtu odmiennego, są jednak zupełnie analogiczne do krzywych, które istnieją pomiędzy dwoma przeciwnymi biegunami magnetycznymi, zwróconymi ku sobie; jeśli więc do drutu, przez który płynie prąd, zbliżać drugi drut równoległy, to przechodzi on poprzez krzywe magnetyczne zupełnie tego samego rodzaju jak te, które musiałby przecinać, gdyby go prowadzić

w linji prostej pomiędzy dwoma przeciwnymi biegunami magnetycznymi; a podczas oddalania od drutu wzbudzającego przecina otaczające go krzywe w ten sam sposób, jakby je przecinał pomiędzy tymi samymi biegunami, gdyby go prowadzić w kierunku odwrotnym...

235. ...Ale takie przecinanie krzywych magnesu wywołałoby w drucie prąd elektryczny, a że krzywe prądu posiadają taki sam układ, więc ich przecinanie musi powodować ten sam skutek. Tak też jest w istocie, gdyż przy zbliżaniu powstaje prąd wtórny, skierowany przeciwnie, niż prąd główny...

237. Jeśli drugi drut trzymać spokojnie obok głównego, to żaden prąd w nim nie powstanie, gdyż nie przecina on żadnej krzywej magnetycznej. Gdy go jednak oddalać, wówczas przecina krzywe magnetyczne w kierunku przeciwnym, niż przedtem (235); dlatego też zostaje wzbudzony prąd o kierunku odwrotnym względem poprzedniego, t. j. o kierunku zgodnym z kierunkiem prądu głównego (19)...

238. Przy pierwszych doświadczeniach (10, 13) oba druty, indukujący i indukowany, pozostawały w stałej odległości od siebie, a przez pierwszy z nich przepuszczano prąd elektryczny. W takich wypadkach należy przypuszczać, że krzywe magnetyczne poruszają się (jeśli można użyć takiego wyrażenia), przecinając drugi drut od chwili zaczynania się prądu, aż do chwili jego największego natężenia; to rozchodzenie się krzywych działa tak samo, jak poruszanie drugiego drutu ku tym krzywym lub ku drutowi, przewodzącemu prąd. Z tego powodu prąd wtórny, wzbudzany w tych wypadkach, ma kierunek przeciwny, niż prąd główny (17, 235). Przy przerywaniu połączenia z baterją można sobie wyobrazić, że krzywe magnetyczne (co jest jedynie wyrażeniem na układ sił magnetycznych) kurczą się i powracają do zanikającego prądu elektrycznego, że więc poruszają się względem drutu w kierunku przeciwnym, przez co zostaje wzbudzony prąd wtórny o kierunku przeciwnym w stosunku do pierwotnego.

239. Jeśli przy doświadczeniach z magnesami zwykłymi, zamiast zbliżać je do drutów, wytwarza się je dopiero w ich pobliżu (27, 36), to można przypuścić, że zachodzi podobne stopniowe rozwijanie się krzywych magnetycznych. Zachodzące przy tem działania odpowiadają ruchowi drutów w jednym kierunku; niweczenie magnetyzmu odpowiada ruchowi drutów w kierunku odwrotnym...

**Dalsze prace nad prądami indukowanemi.**

F a r a d a y powraca do zagadnienia prądów indukowanych magnetoelektrycznych w XXVIII serji „Badań", gdzie używa ich dla zbadania linij siły magnesu. Dwa magnesy, umieszczone równolegle obok siebie (rys. 22), wykonywują obrót około osi, równoległej do ich osi magnetycznych; drut *aN* od galwanometru przebiega pomiędzy nimi od jednego z biegunów do „równika"; tu poprzez magnes łączy się z pierścieniem miedzianym, opasującym oba magnesy; po pierścieniu ślizga się koniec drugiego drutu *c*, połączonego z galwanometrem. Oba druty tworzą obwód indukowany; przy obrocie wszystkie linje magnetyczne, wychodzące z bieguna, przecinają drut *c*.



Rys. 22.

Pierwszym wynikiem, osiągniętym zapomocą tego przyrządu, przy licznych modyfikacjach sposobu prowadzenia drutów, było następujące prawidło:

3087. ...„Jeśli zamknięty obwód, złożony z jakichkolwiek materyj przewodzących... porusza się wpoprzek linij magnetycznych, lub jeśli jest, wskutek ruchu magnesu, przecinany przez linje magnetyczne; jeśli dalej, wskutek nierównomiernej prędkości kątowej, lub wskutek przeciwnych ruchów różnych części obwodu... jedna z tych części przecina więcej lub mniej linij, niż inna — to wówczas będzie istniał prąd wzdłuż obwodu, wywołany różnicą, jaka zachodzi podczas ruchu w tych dwóch, czy też w większej liczbie części".

Pojęcie siły elektromotorycznej, którem F a r a d a y jeszcze nie rozporządzał, pozwoliłoby na prostsze sformułowanie zależności, wyrażonej w powyższym ustępie: siła elektromotoryczna, indukowana w różnych częściach obwodu, zależy od liczby linij magnetycznych, przecinanych przez tę część.

Wpływ prędkości został wyrażony w innym ustępie.

3104. „Jeśli drut porusza się poprzez linje siły powoli, to powstaje w nim prąd słaby, trwający przez cały czas ruchu; jeśli poprzez te same linje porusza się prędko, to powstaje prąd silniejszy, trwający przez czas krótki".

Stąd konkluzja:

3115. ...„ilość elektryczności, rzuconej w obieg prądu, jest wprost proporcjonalna do liczby linij przeciętych".

Ilość elektryczności, czyli iloczyn średniego natężenia prądu przez

czas jego trwania Faraday mierzył zapomocą galwanometru o okresie wahania igły dużym w porównaniu z czasem trwania prądu. Impuls, udzielony igle, jest tu istotnie proporcjonalny do wymienionego iloczynu, a zatem wychylenie igły jest miarą naboju, który przepłynął przez obwód. Zasada ta jest stosowana w t. zw. galwanometrach balistycznych.

W myśl prawa, wypowiedzianego w Nr. 3115, galwanometry takie są używane do mierzenia liczby linij magnetycznych (linij indukcji), jakie pojawiają się w rdzeniu żelaznym pod wpływem wzbudzonego w nim pola magnetycznego (ob. str. 139).

Maxwell sformułował później prawa indukcji w sposób, ujmujący bardziej ściśle i zwięźle myśl Faradaya:

531. „Gdy liczba linij indukcji magnetycznej [por. str. 126], które przechodzą przez obwód wtórny... zmienia się, wzdłuż obwodu działa siła elektromotoryczna, mierzona prędkością ubytku indukcji magnetycznej, przechodzącej przez obwód".

Zdobywszy to prawo, Faraday bada zapomocą niego przebieg linij magnetycznych magnesu. Doświadczenie wykazuje, że prąd indukowany jest niezależny od tego, czy drut *bc* przebiega tuż przy magnesie, czy też zdaleka od niego, czy przecina linje prostopadle, czy ukośnie; zatem liczba przecinanych linij jest czemś zupełnie określonem przy użyciu jednego i tego samego magnesu, w szczególności nie zmniejsza się z oddaleniem od magnesu; to usprawiedliwia traktowanie linij jako czegoś fizycznie istniejącego: każda linja, wychodząca z bieguna magnesu, powraca do drugiego jego bieguna.

W Serji IX Faraday, badając pojawianie się iskier przy przerywaniu obwodu galwanicznego, zauważył, że są one większe, gdy drut łączący jest długi; jeszcze większe, gdy drut ten zwinąć w spiralę; wsunięcie w spiralę rdzenia żelaznego jeszcze bardziej wzmaga świetność iskry. To samo można powiedzieć o wstrząśnieniu, jakiego doznaje przy przerywaniu prądu człowiek, gdy trzyma rękoma końce drutu łączącego. Ciało ludzkie można zastąpić lepiej przewodzącym drutem, nerwy — galwanometrem. Tak rozumując, wykonał Faraday doświadczenie, które go przekonało, że w chwili przerywania prądu powstaje tak nazwany przez niego extra - prąd; bliższe zbadanie przekonało go, że prąd ten jest wynikiem „działania indukcyjnego obwodu na samego siebie" — czyli tego, co dziś nosi nazwę *indukcji własnej*.

Faraday ustalił kierunki prądów wzbudzanych przy zbliżaniu i oddalaniu obwodu indukującego. W r. 1834 profesor fizyki z Pe-

tersburga H. S. Lenz (1804—1865) podał ogólne prawidło, na mocy którego można zawsze przewidzieć kierunek prądu indukowanego.

„Gdy przewodnik metalowy porusza się w pobliżu prądu galwanicznego, zostaje w nim wzbudzony prąd elektryczny takiego kierunku, że ruch tego przewodnika, wywołany działaniem elektrodynamicznem pomiędzy prądem wzbudzającym a wzbudzonym, miałby kierunek wprost przeciwny temu ruchowi, który wywołał powstanie prądu indukowanego".

Zupełnie podobne prawidło stosuje się do prądów, wzbudzanych przez ruch w pobliżu magnesów i elektromagnesów.

Prawo Lenza jest nietylko regułą praktyczną, lecz ma głębsze znaczenie teoretyczne: tkwi w niem zasada zachowania energji (praca prądu na koszt pracy mechanicznej, wykonanej wbrew siłom elektrodynamicznym).

Helmholtz w r. 1847 i Wiliam Thomson w r. 1850 (życiorysy, ob. dział Ciepła) dowiedli, że, jeśli założymy zasadę zachowania energji, to z prawa działania prądów na prądy i prądów na magnesy wynikają wprost prawa indukcji prądów. Z tych dociekań teoretycznych wynika też wzór matematyczny na wartość siły elektromotorycznej indukcji, poszukiwany empirycznie przez Faraday'a, Lenza i W. Webera.

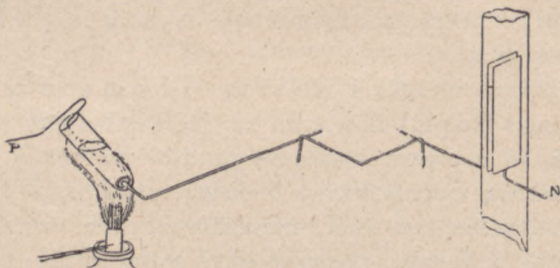
### **Badania doświadczalne nad elektrycznością.** (c. d.)

W III serji swych „Badań doświadczalnych", poświęconej dowodzeniu, że elektryczności różnego pochodzenia nie różnią się od siebie w swej istocie, Faraday porównywał ilościowo działania elektryczności „zwykłej" (statycznej) i galwanicznej. Przekonał się, że elektryczność, wytworzona przez 30 obrotów machiny elektrycznej, zebrana zapomocą baterji butelek lejdejskich i naraz wyładowana, udziela igle galwanoskopu impulsu takiego samego, jak elektryczność, dostarczana w przeciągu $^{8}/_{150}$ minuty z ogniwa cynkowo-platynowego; wywnioskował stąd, że te dwie ilości elektryczności były sobie równe. Następnie zauważył, że obie te równe sobie ilości elektryczności, choć o różnem napięciu i pochodzące z różnych źródeł, wywierają równe działania chemiczne, rozkładając takie same ilości jodku potasu. Po rozszerzeniu badań na inne ciała, a przedewszystkiem na wodę, doszedł do sformułowania następującego prawa „stałego działania chemicznego elektryczności": „ta sama ilość wody zostaje rozłożona przez tę samą ilość elektryczności"; na tej podstawie oparł budowę woltametru wodnego, który posłużył mu w dalszych pracach do mierzenia ilości elektryczności, użytych w procesach elektrolitycznych. Zapomocą tych przyrządów badał rozkład kwasu solnego i wodnego roztworu jodowodoru; ilości wodoru w obu wypadkach były jednakowe i równe tej ilości wodoru, jaką otrzymał przez równoczesny rozkład wody w woltametrze, połączonym w szereg z przyrządem do rozkładu ciał badanych. Wszystkie zbadane do tego czasu ciała były roztworami wodnymi.

SERJA VII (r. 1833).

## O określonych stosunkach przy rozkładzie elektrochemicznym i o jego zakresie.

789... Aby usunąć wszelką wątpliwość, jaką mogłaby wzbudzić obecność wody, poszukiwałem substancyj, wolnych od niej całkowicie. Przy pomocy rozwiniętego powyżej prawa przewodnictwa [1]) znalazłem ich wkrótce wiele, a z pomiędzy nich najpierw został poddany rozkładowi chlorek cynawy i to w sposób następujący: drucik platynowy, zwinięty na końcu w gałeczkę i zważony starannie, zatopiono szczelnie w rurkę ze szkła butelkowego tak, że gałeczka znajdowała




Rys. 23.
Elektroliza chlorku cyny.

się na dnie rurki (rys. 23); następnie rurkę zawieszono na druciku platynowym, aby ją móc ogrzewać płomieniem spirytusowym. Teraz nałożyłem do rurki świeżo przetopionego chlorku cynawego w takiej ilości, aby w stanie płynnym wypełniał rurkę do połowy. Drut rurki łączyłem z woltametrem, który ze swej strony łączył się z biegunem ujemnym baterji woltaicznej, a drucik platynowy, przymocowany do bieguna dodatniego tejże baterji, zanurzałem w roztopionym chlorku w rurce; drucik był tak wygięty, że nie mógł dotknąć elektrody ujemnej na dnie naczynia, w razie gdyby zadrżała ręka lub przyrząd. Całe urządzenie jest widoczne na rysunku.

790. W tych warunkach następował rozkład chlorku cynawego. Chlor, powstający na elektrodzie dodatniej, tworzył chlorek cynowy [2]), który uchodził jako dymek, a cyna wydzielona na elektrodzie ujemnej, łączyła się z platyną, tworząc stop, który topił się w tem-

---

[1]) 394... „prawo, przypuszczające, że ciała (elektrolity) mają zdolność przewodzenia, gdy są ciekłe, a tracą je przy krzepnięciu..." Hittorf (siarczki srebra i miedzi) oraz Warburg (szkło) dowiedli, że i ciała stałe mogą ulegać rozkładowi elektrolitycznemu.

[2]) Zachodzi tu reakcja wtórna: $SnCl_2 + Cl_2 = SnCl_4$.

peraturze, jakiej była poddana rurka; wskutek tego nigdy nie mogło powstać połączenie metaliczne pomiędzy elektrodami. Gdy doświadczenie trwało już tak długo, że wytworzyła się odpowiednia ilość gazu w woltametrze, baterję otworzono, elektrodę dodatnią usunięto, a rurkę z resztą chlorku pozostawiono aż do ostygnięcia. Gdy rurka była już zupełnie chłodna, stłuczono ją, poczem chlorek i szkło dały się łatwo oddzielić od drutu i gałeczki stopu platynowego. Ta ostatnia, zważona po przemyciu, przyrostem ciężaru wykazywała ilość zredukowanej cyny.

791. Dla zilustrowania sposobu wykonania tego i innych doświadczeń, których wyniki będę miał sposobność przytoczyć, podaję szczegóły jednego takiego pomiaru. Elektroda ujemna ważyła początkowo 20 granów, a po doświadczeniu ważyła razem z gałeczką stopu 23,2 grana. Cyna, wydzielona na katodzie przez prąd elektryczny, ważyła więc 3,2 grana. Ilość tlenu i wodoru, zebranych w woltametrze, była = 3,85 cali sześciennych. Ponieważ 100 cali sześciennych wodoru i tlenu, wziętych w stosunku, potrzebnym do wytworzenia wody, waży około 12,92 grana, więc owe 3,85 cali sześciennych ważyły 0,49742 grana; taki byłby zatem ciężar wody, jaką rozłożył ten sam prąd elektryczny, który był w stanie rozłożyć tyle chlorku cynowego, ile potrzeba na otrzymanie 3,2 grana cyny metalicznej. Mamy teraz 0,49742 : 3,2 = 9 (równoważnik wody): 57,9. Liczba ta byłaby zatem ciężarem [atomowym] cyny [1]), gdyby doświadczenie było wykonane bez błędu i gdyby rozkład elektrolityczny w tym wypadku był także określony. W niektórych dziełach chemicznych jako równoważnik chemiczny cyny podają 58, w innych 57,9. Obie liczby są tak zbliżone do wyników powyższych, a doświadczenie samo podlega tak nieznacznym przyczynom zmian (np. wskutek pochłaniania gazów w woltametrze i t. d.), że nie pozostaje prawie wątpliwości, iż w tym i we wszystkich podobnych wypadkach rozkładu elektrochemicznego stosuje się prawo stałego działania.

Dalsze doświadczenia obejmują rozkład chlorku ołowiu, tlenków (ołowiu, bizmutu, antymonu) i jodków (ołowiu i potasu); rezultaty były nieco gorsze, niż poprzedzające, wskutek różnych procesów wtórnych.

806. Przy niektórych z tych doświadczeń umieszczano obok siebie kilka takich substancyj i rozkładano jednocześnie jednym i tym

---

[1]) Chemja współczesna przyjmuje jako ciężar cząsteczkowy wody 18,016 zamiast 9. Równoważnik chemiczny (ciężar atomowy) cyny, obliczony z pomiarów Faraday'a, powinien więc wynosić 115,84; metody współczesne chemji dają wartość 118,7.

samym prądem elektrycznym. Działałem więc prądem jednocześnie na chlorek cynawy, chlorek ołowiu i na wodę. Niepotrzeba dodawać, że wyniki dawały się z sobą porównywać, że cyna, ołów, chlor, tlen i wodór wywiązywały się w ilościach stałych, odpowiadających ich równoważnikom chemicznym...

821. Wszystkie te fakty, jak mi się wydaje, dowodzą w sposób najbardziej zgodny i nieodparty prawdy ważnego twierdzenia, wypowiedzianego na początku, a mianowicie: że chemiczne działanie prądu elektrycznego jest proporcjonalne do ilości bezwzględnej przechodzącej elektryczności. Dowodzą one również, że to twierdzenie stosuje się nietylko do jednego ciała, np. wody, lecz do wszystkich ciał elektrolitycznych wogóle, a nadto, że wyniki, otrzymane z jakiemkolwiek jednem ciałem, zgadzają się nie tylko pomiędzy sobą, ale i z wynikami, otrzymanemi z innemi ciałami; tak, że wszystko razem składa się na szereg ściśle określonych działań elektrochemicznych...

### Rozwój teoryj elektrolizy.

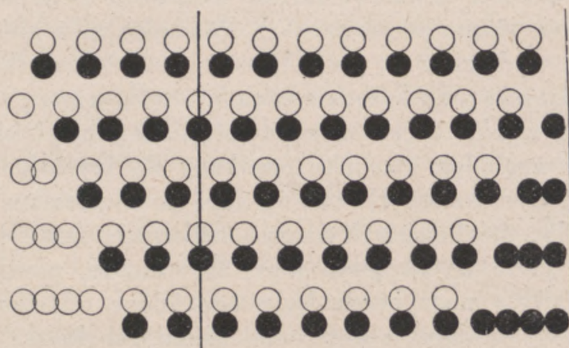
W poglądach na mechanizm elektrolizy Faraday stał na gruncie teorji wędrówki jonów. „Elektrolit może przewodzić prąd tylko rozkładając się jednocześnie. Jego przewodzenie zależy od jego rozkładu i od przenoszenia się jego cząsteczek w kierunku równoległym do prądu" („Badania", Serja VIII, Nr. 923). W celu bezpośredniego stwierdzenia przenoszenia się jonów podczas elektrolizy kwasu siarkowego, umieszczał elektrody w dwóch oddzielnych naczyniach; zwilżony azbest stanowił połączenie obu porcyj cieczy; po przepuszczaniu prądu przez czas dłuższy zanalizowano zawartość obu naczyń; okazało się, że część jonów kwasowych przewędrowała z naczynia ujemnego do dodatniego.

Pouillet, elektrolizując roztwór chlorku złota w rurce kształtu litery U, zauważył, że w ramieniu ujemnem zniknęło prawie całe złoto, podczas gdy w ramieniu dodatniem ilość jego pozostała prawie niezmieniona. Przypuszczeniu Pouillet'a, że to tylko katoda wywołuje rozkład, przeciwstawił Hittorf tłomaczenie, oparte na teorji wędrówki jonów.

J. W. HITTORF (1824—1914), fizyk niemiecki, znany ze swych prac nad elektrolizą; badał też wyładowania w gazach rozrzedzonych i jeden z pierwszych zajmował się promieniami katodowemi.

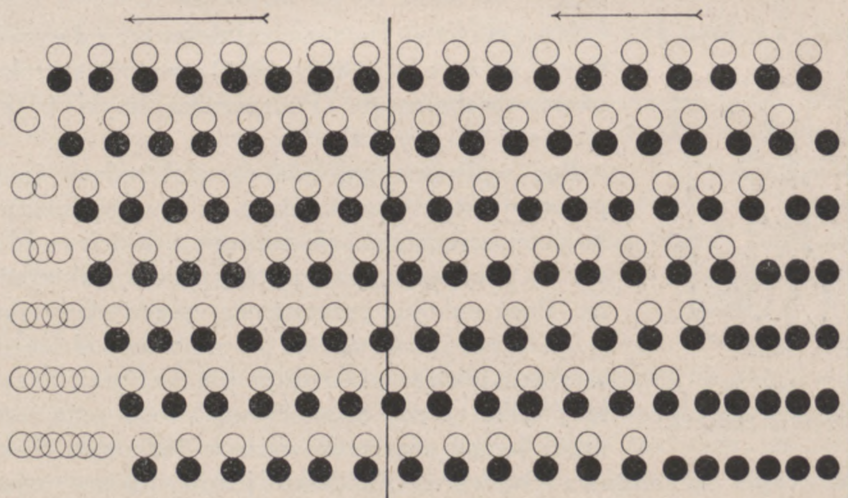
Hittorf zajął się pytaniem, z jakiemi prędkościami poruszają się jony w swej wędrówce ku elektrodom; dotychczas zakładano mil-

cząco, że są one sobie równe. Aby rozpatrzyć wynikające stąd konsekwencje, podaje rysunek 24, na którym jony dodatnie i ujemne są oznaczone odpowiednio krążkami czarnemi i białemi.



Rys. 24.
Wędrówka jonów. Prędkości równe.

„Rysunek ten jest zrobiony w założeniu, że jony przebywają równe drogi, i poucza nas, że strona katodowa zyskuje po elektrolizie pół równoważnika katjonu [pół krążka białego w drugim szeregu]. Lecz



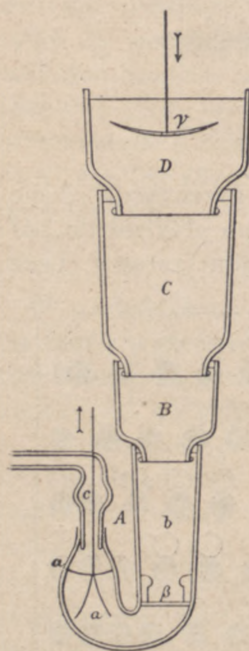
Rys. 25.
Wędrówka jonów. Prędkości nierówne.

jednocześnie wydziela się cały katjon jako ciało stałe [krążek biały, osobno stojący]; zatem roztwór jest uboższy o pół równoważnika [3½ par krążków czarnych i białych zamiast 4]".

To samo występuje na anodzie: zmiany stężenia przy obu elektrodach są jednakowe.

Rys. 25 zrobiono w założeniu, że prędkość katjonów jest dwa razy większa od prędkości anjonów. Strona katodowa zyskała $^2/_3$ równoważnika katjonu, strona anodowa — $^1/_3$ równoważnika anjonu. Ponieważ i tu i tam wydzieliło się po całym równoważniku odpowiedniego jonu, przeto stężenie przy katodzie zamalało o $^1/_3$, a przy anodzie o $^2/_3$ równoważnika związku. Stosunek zmian stężenia przy elektrodach jest więc odwrotny względem stosunku prędkości dążących ku nim jonów.

Aby znaleźć te stosunki, H i t t o r f użył do elektrolizy przyrządu, złożonego z kilku stożkowatych naczyń szklanych, ustawionych jedno na drugiem (rys. 26); ciecze, zawarte w tych naczyniach, były oddzielone od siebie przegrodami z porowatej glinki lub kiszki zwierzęcej; po przepuszczeniu prądu przyrząd można było rozebrać i zbadać oddzielnie zmiany stężenia przy anodzie (D) i katodzie (A). Tą metodą zmierzono stosunki ruchliwości jonów dla szeregu różnych elektrolitów. Naogół ruchliwość jonów ujemnych okazała się większa, niż jonów dodatnich.



Rys. 26.
Przyrząd Hittorf'a.

Myśl H i t t o r f'a, rozwinął dalej F r y d e r y k K o h l r a u s c h (1840—1910), autor szeroko rozpowszechnionego „Podręcznika fizyki praktycznej" (16 wydań).

Pod wpływem napięcia na elektrodach jony poruszają się wbrew tarciu o ciecz z prędkościami proporcjonalnemi do napięcia i do ich ruchliwości; przytem unoszą z sobą naboje elektryczne. Ilość naboju, przeniesiona przez dany jon w jednostkę czasu, jest niezależna od tego, w skład jakiego elektrolitu jon wchodzi, a zależy tylko od napięcia, od ruchliwości jonu i od ilości jonów cząsteczkowych w jednostce objętości, czyli od stężenia roztworu. Każdemu jonowi można więc przypisać pewne „przewodnictwo drobinowe", a przewodnictwo roztworu jakiegokolwiek elektrolitu składa się z sumy iloczynów ruchliwości jego jonów przez ich stężenie.

Dla sprawdzenia tego prawa K o h l r a u s c h przeprowadził pomiary przewodnictwa bardzo licznych elektrolitów o różnych stężeniach. Okazało się przytem, że doświadczenie odpowiada teorji, t. j.

że przewodnictwa drobinowe mają wartość określoną i niezmienną tylko wtedy, gdy rozcieńczenie jest bardzo znaczne; poczynając od pewnego stężenia, przewodnictwa zaczynają maleć. Jeśli elektrolitem jest ciecz (np. kwas siarkowy), to przy zupełnem stężeniu, czyli zupełnem uwolnieniu od wody, przewodnictwo drobinowe stanowi drobny zaledwie ułamek przewodnictwa w dużych rozrzedzeniach. Te wyniki stały się niebawem punktem wyjścia nowych pomysłów teoretycznych, stanowiących podstawę dzisiejszych poglądów na mechanizm rozkładu elektrolitycznego.

Prace nad własnościami fizyko-chemicznemi roztworów doprowadziły do ustalenia trzech bardzo prostych i ogólnych praw: ciśnienie osmotyczne (P f e f f e r, 1877), obniżenie temperatury krzepnięcia (R a o u l t, 1883) i podniesienie temperatury wrzenia roztworów (v a n t'H o f f, 1886) mają wartości jednakowe dla roztworów różnych związków w jednym i tym samym rozpuszczalniku, jeśli roztwory te mają to samo stężenie drobinowe, to znaczy, jeśli jednostka objętości roztworu zawiera tę samą liczbę rozpuszczonych drobin. Otóż roztwory elektrolitów wykazują odstępstwo od tych praw; wszystkie 3 działania występują w nich silniej i to w stosunku tem większym, im roztwór jest bardziej rozcieńczony; przy wielkiem rozcieńczeniu stosunek ten zbliża się do liczby 2.

Obie te właściwości roztworów elektrolitycznych powiązał A r r h e n i u s w swej teorji przewodnictwa elektrolitycznego.

SVANTE ARRHENIUS (ur. 1859), szwedzki fizyko-chemik, prócz prac nad elektrolizą, znany z badań nad fizyką atmosfery i zjawiskami kosmicznemi. Wypowiedział hipotezę t. zw. panspermji; według niej zarodki organizmów mogą przenosić się z jednej planety na drugą, poruszane ciśnieniem światła. Napisał „Fizykę kosmiczną" oraz popularne dzieło „O powstawaniu światów", przełożone między innemi na język polski.

Według A r r h e n i u s a, drobina elektrolitu ulega w stanie roztworu dyssocjacji elektrolitycznej, czyli rozszczepieniu na dwa jony, naelektryzowane znakami odwrotnemi. Naogół dyssocjuje tylko część drobin, tem większa, im mniejsze jest stężenie roztworu; dopiero w roztworach bardzo rozcieńczonych wszystkie drobiny są zdyssocjowane. Na ciśnienie osmotyczne oraz na temperaturę zmiany fazy jony wpływają tak samo, jak całkowite drobiny; dlatego roztwór rozcieńczony elektrolitu zachowuje się, jakgdyby miał stężenie dwa razy większe od tego, jakie odpowiada składowi chemicznemu niezdyssocjowanego elektrolitu. Teorja dyssocjacji odpowiada na pytanie, które naprózno starali się rozwiązać G r o t t h u s, D a v y i inni, skąd w roz-

tworze biorą się naelektryzowane jony; wyjaśnia również wyniki pomiarów Kohlrauscha. Pomiary przewodnictwa roztworów elektrolitycznych stały się najlepszą metodą mierzenia stopnia dyssocjacji, czyli stosunku liczby drobin zdyssocjowanych do liczby całkowitej drobin elektrolitu w roztworze.

Teorję Arrheniusa rozwinęli dwaj znakomici fizyko-chemicy: niemiec Wilhelm Ostwald (ur. 1853) i holender van t'Hoff (1851—1911).

## **Badania doświadczalne nad elektrycznością.** (c. d.)

SERJA XI (r. 1838).

### XVIII. O indukcji.

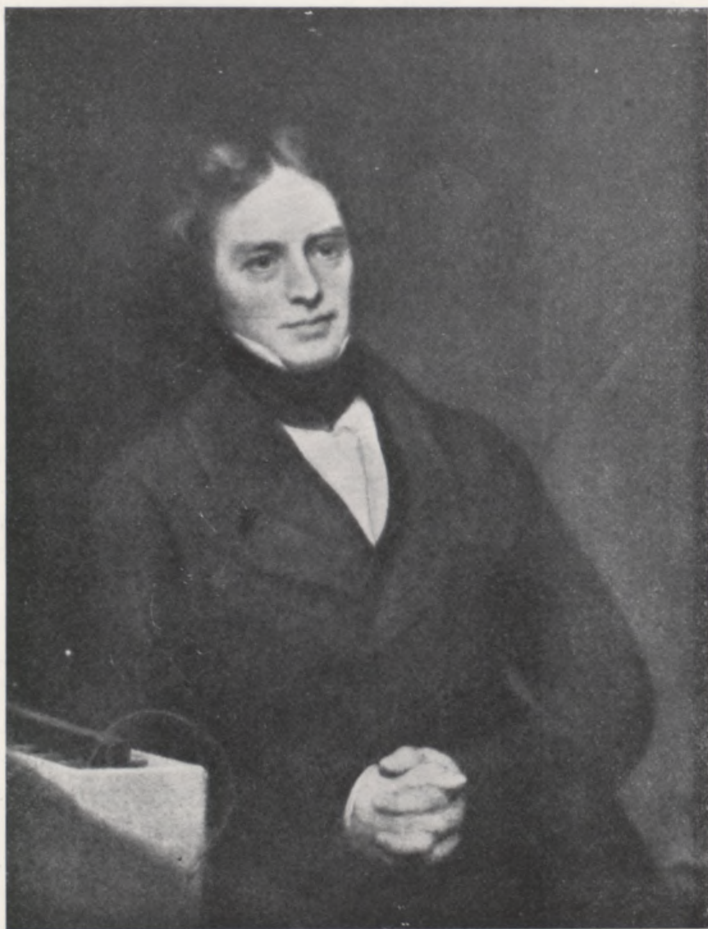
**1. Indukcja przez działanie cząstek przyległych.**

1161. Nauka o elektryczności znajduje się obecnie w tym stanie, w którym każdy z jej działów wymaga zbadania doświadczalnego, nie tylko w celu odkrycia nowych zjawisk, ale, co jest rzeczą o wiele ważniejszą, aby udoskonalić środki wywoływania już znanych i, co za tem idzie, aby ściślej określić ostateczne zasady działania tej najniezwyklejszej i najogólniejszej z sił przyrody. Dla fizyków, którzy prowadzą badania gorliwie ale i ostrożnie, kojarzą doświadczenie z analogją, nie ufają swemu zgóry powziętemu zdaniu, polegają bardziej na faktach, niż na teorjach, nie uogólniają zbyt pośpiesznie i, przedewszystkiem, są gotowi do sprawdzenia swych poglądów na każdym kroku zapomocą rozważań i doświadczeń [1]), dla takich fizyków żadna inna gałęź nauk przyrodniczych nie może dostarczyć piękniejszego i wydatniejszego pola do odkryć...

1162. Pomiędzy wielorakiemi działaniami, jakie przyjęto rozróżniać w elektryczności, niema chyba ani jednego, które pod względem doniosłości możnaby postawić wyżej lub bodaj narówni z tak zwaną indukcją...

1164. Gdy odkryłem fakt powszechny, że elektrolity, które dają się łatwo rozkładać w stanie ciekłym, w stanie stałym opierają się temu całkowicie, zdawało mi się, że znalazłem drogę, wiodącą do wyjaśnienia istoty działania indukcyjnego i do podporządkowania jednemu prawu zjawisk różnorodnych. Przypuśćmy, że elektrolitem jest woda. Jeżeli obłożyć płytkę z lodu po obu stronach folją platynową i połączyć te okładki z trwałem źródłem obu elektryczności, to lód zostanie nabity podobnie do butelki lejdejskiej. Jest to zwy-

[1]) Świetna charakterystyka własnej umysłowości autora.



MICHAŁ FARADAY

kła indukcja i żaden prąd przy tem nie przepływa. Gdy lód stopić, indukcja zmniejsza się do pewnego stopnia, gdyż prąd może już przechodzić; ale przejście prądu jest zależne od szczególnego układu drobin w związku z przechodzeniem części składowych elektrolitu w dwóch odwrotnych kierunkach, a stopień rozbrojenia jest ściśle proporcjonalny do ilości wydzielonych części składowych. Czy nabój okładek metalowych jest wytwarzany przez silną machinę elektryczną, dużą i mocną baterję Volty, czy też przez jednę tylko parę płyt, nie czyni to żadnej różnicy w istocie przebiegu, lecz tylko w jego stopniu. We wszystkich wypadkach występuje zwykła indukcja, gdy elektrolit jest stały, a rozkład chemiczny, gdy jest ciekły... Ponieważ zatem indukcja zdaje się być w elektrolizie pierwszym krokiem, a rozkład drugim (przyczem oddzielenie tych faz przez wytworzenie stanu stałego lub ciekłego leży w naszej mocy); ponieważ indukcja ta jest tego samego rodzaju, co wywołana środkami zwykłemi w powietrzu, szkle, wosku lub innych substancjach; ponieważ wreszcie cały proces w elektrolizie zdaje się polegać na działaniu drobin, wprowadzonych w stan szczególny czyli spolaryzowany, — więc doszedłem do przypuszczenia, że i sama zwykła indukcja jest, bądź co bądź, działaniem cząsteczek przyległych, i że działanie elektryczne na odległość (t. j. zwykłe działanie indukcyjne) nie odbywa się nigdy inaczej, jak przez wpływ pośredniczący substancji otaczającej.

1165. Moje poważanie dla Aepinus'a, Cavendish'a, Poisson'a i innych znakomitych mężów, których wszystkie teorje, jak mi się wydaje, uważają indukcję za działanie na odległość i wzdłuż linij prostych, długo powstrzymywało mnie od przyjęcia wymienionych powyżej zapatrywań...

1167. Jeśli indukcja polega na działaniu cząsteczek przyległych i jest pierwszą fazą rozkładu elektrolitycznego, to wydaje się usprawiedliwionem oczekiwanie, iż pomiędzy indukcją a różnemi substancjami, przez które się ona odbywa, istnieje jakiś związek szczególny, coś w rodzaju indukcji właściwej dla różnych ciał; jeśliby tak było, to zależność indukcji od cząsteczek ciała zostałaby dowiedziona bezsprzecznie...

1168. Zupełne niepowodzenie wszelkich moich starań wykazania istnienia elektryczności, niezwiązanej z materją, przez nabicie niezawisłe materji siłą dodatnią albo ujemną — pierwsze skłoniło mnie do uważania indukcji za działanie cząsteczek ciała, z których każda zawiera obie siły w ściśle równych ilościach. Z tego i z innych po-

wodów pragnę przytoczyć najpierw uwagi o bezwzględnym naboju materji... aby mogły służyć za dowody i argumenty na korzyść mego mniemania, że indukcja elektryczna jest działaniem przylegających cząsteczek ośrodka izolującego, czyli dielektryku[1]).

### 2. O bezwzględnym naboju materji.

1169. Czy materja, przewodząca czy nieprzewodząca, może być nabitą, chociażby w stopniu najsłabszym, jedną z sił elektrycznych[2]), bez nabicia drugą, czy to w stanie dostrzegalnym, czy też ukrytym?

1170. Piękne doświadczenia Coulomb'a, stwierdzające... pozostawanie całej elektryczności na powierzchni przewodników, właściwie zrozumiane, wystarczają już, aby dowieść, że przewodniki nie mogą być nabite w całej swej masie...

1171. W stosunku do izolatorów lub nieprzewodników wniosek wydaje się początkowo nie tak jasnym. Dają się one łatwo elektryzować w całej masie, zarówno przez zetknięcie, jak i przez wzbudzenie; jeśli jednak bliżej rozpatrzyć taki wypadek, okazuje się, że jest to wypadek indukcji, a nie nabicia bezwzględnego...

1172. Dobrze oczyszczony olejek terpentynowy, który, jak się przekonałem, jest w większości wypadków wybornym ciekłym izolatorem, umieszczono w naczyniu metalowem; po odizolowaniu starałem się naelektryzować jego cząsteczki, to przez zetknięcie metalu z machiną elektryczną, to przez zanurzanie drutu w terpentynie. Lecz, w jakikolwiek sposób udzielałem naboju, przyrząd ten nie zatrzymywał nigdy elektryczności jednego rodzaju, za wyjątkiem zewnętrznej powierzchni metalu, gdzie znajdowała się tylko dzięki działaniu indukcyjnemu otaczających przewodników poprzez powietrze. Gdy olejek terpentynowy zawarto w naczyniu szklanem, to wydawało się zrazu, że przyjmuje on bezwzględny nabój elektryczności od drutu; wkrótce jednak okazało się, że była to zwykła indukcja łącznie poprzez ciecz, szkło i otaczające powietrze.

1173. Z powietrzem wykonywałem te doświadczenia na wielką skalę. Kazałem zbudować z lekkich ram drewnianych sześcian o krawędziach 12 stóp długości, obciągnąć go wzdłuż i wszerz drutami miedzianemi tak, że boki stanowiły wielką sieć, następnie okleić

---

[1]) Używam wyrazu dielektryk dla wyrażenia własności substancji, poprzez którą działają siły elektryczne. — Grudz. 1838. (Przyp. Aut.).

[2]) Autor często używa wyrazu „siła elektryczna" w znaczeniu naboju elektrycznego.

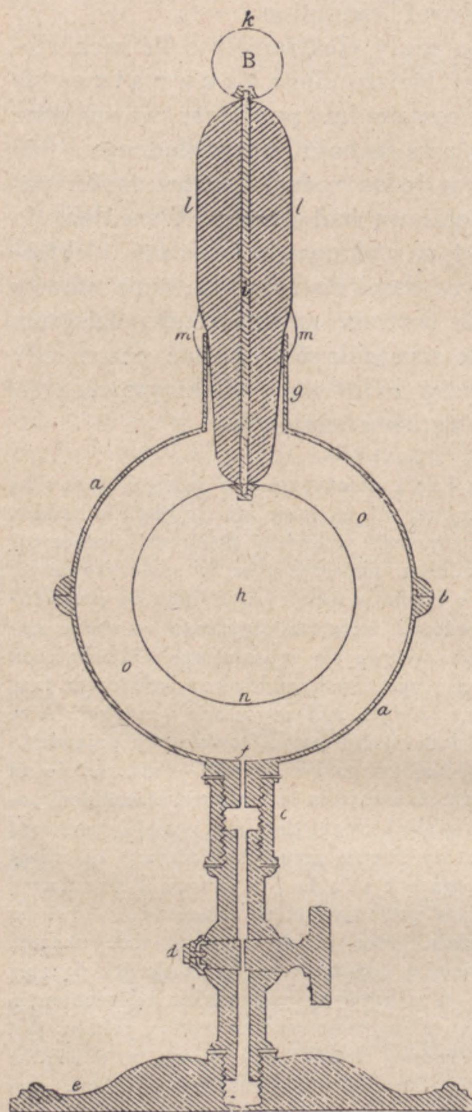
szczelnie papierem i obłożyć wreszcie paskami cynofolji we wszystkich kierunkach, tak, że całość posiadała dobre połączenie metalowe i wszędzie przedstawiała swobodny przewodnik. Ta kamera została odizolowana w sali wykładowej Royal Institution...

1174. Wstawiałem do sześcianu czuły elektrometr o listkach złota, a sześcian nabijałem kilka razy bardzo silnie z z e w n ą t r z; ale ani podczas, ani po nabiciu elektrometr lub powietrze wewnętrzne nie wykazywało najmniejszego śladu naboju bezwzględnego... lub też naboju indukcyjnego, w którym jeden rodzaj elektryczności posiadałby jakąkolwiek przewagę ilościową nad drugim. Wszedłem do wnętrza sześcianu i pozostawałem tam z płonącemi świecami, elektrometrami i wszelkiemi innemi przyrządami do rozpoznawania stanów elektrycznych, nie mogłem jednak dostrzec najmniejszego działania na nie, ani żadnych innych oznak szczególnych, chociaż przez cały ten czas zewnętrzna strona sześcianu była silnie elektryzowana — z każdej jego części wydobywały się iskry i miotełki...

[Dla zrozumienia wywodów F a r a d a y'a należy mieć w pamięci, że wyraz „indukcja" ma dla niego znaczenie szersze, niż to, jakie mu się obecnie nadaje. Każdy pojawiający się nabój elektryczny musi wzbudzać polaryzację otaczającego izolatora, a na każdym przewodniku, umieszczonym w spolaryzowanym izolatorze, musi powstać nowy nabój o znaku przeciwnym. Naboje na przewodnikach są więc tylko swobodnemi końcami izolatora, będącego w stanie napięcia, czyli spolaryzowanego. Indukcja odbywa się w izolatorze. Gdziekolwiek spotykamy dwa równe naboje o znakach przeciwnych, oddzielone izolatorem, tam, zgodnie ze sposobem wyrażania się F a r a d a y'a, możemy mówić o indukcji. A że każdemu pojawiającemu się nabojowi dodatniemu zawsze towarzyszy pojawienie się równego mu co do wielkości naboju ujemnego i naodwrót — niezależnie od sposobu, w jaki naboje wzbudzamy — przeto indukcja jest istotnie zjawiskiem powszechnem, ogólnem i zasadniczem. Nabój bezwzględny nie istnieje, ponieważ suma nabojów wzbudzonych jest zawsze równa zeru. Przytoczymy tu uwagi T y n d a l l'a, zaczerpnięte z książki jego o F a r a d a y'u: „Pisma F a r a d a y'a o indukcji i przewodnictwie nie zawsze posiadają jasne znaczenie... Mówi on wciąż np. o niemożliwości nabicia ciała jedną elektrycznością, choć okazuje się, iż ta niemożliwość nie jest bynajmniej dowiedzioną. Klucz do rozwiązania tej trudności jest następujący: widzi on w każdym przewodniku odosobnionym okładkę wewnętrzną butelki lejdejskiej. Kula, izolowana w środku pokoju, jest dla niego takim przyrządem; ściany tworzą okładkę zewnętrzną, a powietrze między niemi jest izolatorem, poprzez który działa nabój za pośrednictwem indukcji. Bez tego oddziaływania ścian na kulę nie możnaby jej, zdaniem F a r a d a y'a, nabić elektrycznością, podobnie jak nie można tego uczynić z butelką lejdejską, której odjęto okładkę zewnętrzną. Odległość jest dla niego bez znaczenia. Jego zdolność uogólniania pozwala na obchodzenie się bez pojęcia „wielkości"; i choćby rozbić ściany pokoju, chociażby zniweczyć samą ziemię, to jeszcze słońce i planety uznałby on za okładki zewnętrzne swojej butelki"].

### 3. Elektrometr i przyrząd indukcyjny.

Przyrządem do mierzenia naboju (elektrometrem) była waga skręceń Coulomb'a; kulkę ruchomą doprowadzano zawsze do tego samego położenia; potrzebne do tego skręcenie nici, które odczytywano na kole górnem, było miarą siły odpychania przy niezmiennem oddaleniu obu kulek (30°). To pozwalało uniknąć błędów, pochodzących z drobnych nieprawidłowoci w kształcie i własnościach przyrządu.




Rys. 27.
Przyrząd do mierzenia indukcji właściwej.

1188. Przyrząd indukcyjny. Przyrząd użyty składał się głównie z dwóch kul metalowych o nierównych średnicach, z których mniejsza była umieszczona współśrodkowo wewnątrz większej; poprzez dzielącą je przestrzeń miała się odbywać indukcja. Rys. 27 pokazuje przyrząd w skali 1 : 3; *a*, *a* są to dwie połowy kuli mosiężnej, zamkniętej hermetycznie przy *b*, jak półkule magdeburskie,... *g* jest tuleją mosiężną, przez którą jest przesunięta podpora szellakowa kuli wewnętrznej, wraz z jej prętem; *h* jest kulą wewnętrzną, również z mosiądzu; jest ona naśrubowana na pręt *i*, zakończony guzikiem mosiężnym *B*...

1195. Przyrząd opisany jest oczywiście butelką lejdejską, ma tę jednak zaletę, że można dowolnie zmieniać ośrodek dielektryczny, czyli izolujący. Kule *h* i *B* wraz z drutem łączącym *i* tworzą przewodnik nabity, na którego powierzchni utrzymuje się, dzięki indukcji, cała siła elektryczna. Choć największa część tej indukcji odby-

wa się pomiędzy kulą *h* i kulą otaczającą *aa*, to jednak część indukcji jest wywierana przez drut *i* oraz kulę *B* z ich powierzchni na otaczające przewodniki zewnętrzne. Ale, ponieważ pod tym względem nic się nie zmienia, więc wszystkie różnice, jakie przyrząd wykaże, jeśli w *oo* zmienać ośrodek, będą pochodziły od tej zmiany... Przypuszczałem, że te różnice, o ile istnieją, wystąpiłyby najwyraźniej, gdyby mieć dwa przyrządy w rodzaju opisanego, podobne do siebie pod każdym względem; należałoby napełnić je różnemi ciałami izolującemi, jeden z nich nabić, następnie, zmierzywszy nabój, rozdzielić go pomiędzy oba przyrządy i obserwować stan ostateczny obu. Gdyby różne ciała izolujące istotnie posiadały różnice właściwe w zdolności indukcyjnej, to musiałoby się to, jak mniemam, dać wykazać zapomocą podobnego postępowania.

1196. Aby wyłuszczyć, jakie środki ostrożności są konieczne przy użyciu tych przyrządów, opiszę doświadczenia, przedsięwzięte w celu stwierdzenia ich równości w wypadku, gdyby oba zawierały zwyczajne powietrze. Dla odróżnienia będę je nazywał przyrządem I i II...

1198. Nabija się jeden z przyrządów indukcyjnych, np. I, zapomocą butelki lejdejskiej... Kulkę nieruchomą (elektrometru) przytyka się do wierzchołka *k* kulki *B* (rys. 27), umieszcza w elektrometrze i mierzy siłę odpychania (przy odległości 30°). Następnie znów dotyka się przyrządu I kulką elektrometru i powtarza się pomiar. Teraz łączy się z sobą przyrządy I i II, aby podzielić pomiędzy nie nabój. Wówczas mierzy się siłę każdego z nich przez przyłożenie kulki elektrometru, jak poprzednio, i zapisuje się wyniki... Jeśli naboje, przepołowione w I i II, są sobie równe i razem równe całkowitemu nabojowi przed podziałem, to można uważać za stwierdzone, że oba przyrządy są równe sobie co do siły i zdatne do porównywania różnych dielektryków...

1199. Przyrządy I i II muszą być zawsze ustawiane na substancji doskonale przewodzącej...

### 5. Indukcja właściwa, czyli zdolność indukcyjna właściwa [1]).

1252. Przechodzę teraz do zbadania wielkiego zagadnienia zdolności indukcyjnej właściwej, mianowicie do zbadania, czy istotnie różne ciała dielektryczne wywierają wpływ na stopień odbywającej się naskroś nich indukcji...

---

[1]) Stała dielektryczna.

1256. Najpierw porównywano szellak i powietrze. — W tym celu wstawiano w dolną półkulę jednego z przyrządów indukcyjnych (1188) grubą, półkulistą czarkę z szellaku tak, że prawie wypełniała dolną część przestrzeni *oo*, rys. 27). Następnie nabito i podzielono nabój w sposób opisany powyżej (1198), używając przyrządu II do przyjęcia naboju początkowego...

1257. Półkulę z szellaku wstawiono do przyrządu I, a w przyrządzie II pozostawiono powietrze. Wyniki jednego z doświadczeń, w którem nabój przyrządu z powietrzem został udzielony przyrządowi, zawierającemu szellak, były następujące:

| Przyrząd I, szellak. | | Przyrząd II, powietrze. | |
|---|---|---|---|
| 0° | — — — — — — — — | | |
| | — — — — — — — — | 304° | |
| | — — — — — — — — | 297° | |

Nabój podzielono:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 113° | — — — — — — — — | | |
| | — — — — — — — — | 121° | |
| 0° | — — — — — — — — | | po rozbrojeniu. |
| | — — — — — — — — | 7° | po rozbrojeniu. |

1258. Tutaj można uważać 297° — 7°, czyli 290° jako nabój przyrządu II, podlegający podziałowi (gdzie 7° jest działaniem stałem pręta szellakowego), czego połowa wynosi 145°. Przyrząd z szellakiem wykazał 113° jako siłę, czyli napięcie, osiągnięte po podziale. Przyrząd II z powietrzem wykazał 121°—7°, czyli 114°, jako to, co zatrzymał z naboju 290°, podlegającego podziałowi. Te dwie liczby powinny być jednakowe i są też prawie takie, dalekie od przekroczenia granicy błędów obserwacji. Ale liczby te różnią się znacznie od 145°, czyli od siły, jakąby posiadała połowa naboju, gdyby przyrząd I zawierał był powietrze zamiast szellaku; jest rzeczą jasną, że, gdy wskutek podziału indukcja poprzez powietrze straciła na sile 176°, indukcja poprzez szellak zyskała zaledwie 113°.

1259. Jeśli przyjąć, że ta różnica zależy wyłącznie od większej łatwości, z jaką szellak w porównaniu z powietrzem przepuszcza, czy też sprawia rozchodzenie się indukcji poprzez swą masę, to owe zdolności indukowania elektrycznego miałyby się odwrotnie, jak powyżej przytoczony zysk i strata, i o ile zdolność przyrządu z powietrzem przyjmiemy za jedność, to zdolność przyrządu z szellakiem byłaby $^{176}/_{113}$ czy 1,55.

1260. Wartość tej nadzwyczajnej różnicy była tak nieoczekiwana, że musiała wzbudzić bardzo silne podejrzenie co do dokładności doświadczenia, choć rozbrojenie zupełne przyrządu I po podziale wskazywało, że owe 113° łatwo zostały pobrane i łatwo oddane. Było rzeczą jasną, że, o ileby różnica ta istniała rzeczywiście, to musiałaby wywołać odpowiednie działanie i w odwrotnym porządku, t. j. jeśli zmienić indukcję poprzez szellak na indukcję poprzez powietrze, to siła czyli napięcie całości musi *wzrosnąć*. Nabito zatem najpierw przyrząd I, a siłę jego podzielono z przyrządem II. Wyniki były następujące:

| Przyrząd I, szellak. | Przyrząd II, powietrze. | |
|---|---|---|
| — — — — — — — — | 0° | |
| 215° — — — — — — — — | | |
| 204° — — — — — — — — | | |

Nabój podzielono:

| | | |
|---|---|---|
| 118° — — — — — — — — | | |
| — — — — — — — — | 118° | |
| — — — — — — — — | 0 | po rozbrojeniu. |
| 0 — — — — — — — — | | po rozbrojeniu. |

1261. Tutaj największy nabój, podlegający podziałowi, musiał być 204°. Przyrządy I i II dały 118° jako swe siły, obie więc wynosiły *więcej*, niż połowa siły pierwotnej, czyli 102°, podczas gdy w wypadku poprzednim wynosiły mniej. Przyrząd I z szellakiem stracił tylko 86°, a mimo to oddał 118° przyrządowi II z powietrzem; szellak zatem przewyższa znacznie powietrze. Zdolność indukcyjna przyrządu I z szellakiem ma się do zdolności przyrządu II z powietrzem, jak 1,37 do 1.

Przyczyna różnic pomiędzy obu wynikami tkwi, według autora, w rozpraszaniu się naboju elektrycznego, widocznem z dwóch pierwszych liczb każdego pomiaru; wskutek tego napięcie w pierwszym wypadku spadło silniej, a w drugim podniosło się mniej ponad połowę, niż gdyby nabój pozostał nieuszczuplonym. Po obliczeniu poprawek znaleziono wartości: 1,50 i 1,47. Druga serja doświadczeń po tych samych poprawkach dała: 1,55 i 1,49. Średnia ze wszystkich pomiarów wynosi 1,50.

1169. Z wykonanych przezemnie doświadczeń i z ich niezmiennych wyników nie mogę wyprowadzić innego wniosku, jak ten, że szellak posiada *zdolność indukcyjną właściwą*. Starałem

się kontrolować doświadczenia wszelkiemi sposobami i, jeśli nie usunąć, to przynajmniej ocenić każde źródło błędów...

Zmiana indukcji zachodziła tylko w dolnej części, wypełnionej szellakiem, gdyby i górne półkule były przedzielone izolatorem, to wartość zmierzona indukcji właściwej szellaku wynosiłaby koło 2 w stosunku do powietrza; jeśli uwzględnić, że drut i kula *B* też nie biorą udziału w zmianie indukcji, wartość tę należałoby jeszcze podwyższyć.

Następują badania nad innymi izolatorami; dla szkła wypada, jako wynik ostateczny, 1,76, dla siarki — 2,24. Pomiary z terpentyną, naftą, dały wyniki niepewne, ale wskazujące prawdopodobną ich przewagę nad powietrzem. Przy napełnieniu przyrządu powietrzem zgęszczonem lub rozrzedzonem oraz różnemi gazami nie dało się dostrzec żadnej wyraźnej różnicy [1]).

[Pojęcia naboju, siły, napięcia nie były pierwotnie wyraźnie odróżniane; raczej wyczuwano, niż rozumiano ich różnice, i długi czas miał upłynąć, zanim doszły do dzisiejszego stopnia jasności i ścisłości. Prace dawnych autorów wykazują wielką chwiejność pojęć, a przynajmniej terminologji, bardzo utrudniającą ich zrozumienie. To, co Faraday mierzył swym elektrometrem, nazywa siłą, działaniem, napięciem; ostatnia nazwa zbliża się do terminologji dzisiejszej. Pomiar Faraday'a odbywał się w sposób następujący: po naelektryzowaniu ruchomej kulki wagi skręceń (elektrometru) przez zetknięcie z butelką lejdejską, elektryzował tym samym znakiem wewnętrzną kulę swego kondensatora (przyrządu indukcyjnego), poczem dotykał guzika *B* kulką nieruchomą wagi. Ponieważ pojemność kulki była mała w porównaniu z pojemnością przyrządu, przeto nabój, jaki zabierała z sobą, był proporcjonalny do potencjału (napięcia) przewodnika. Kąt, o jaki skręcano nić wagi, aby kulkę ruchomą doprowadzić do określonej, stałej odległości od kulki nieruchomej, był miarą odpychania wzajemnego obu kulek, był więc proporcjonalny do potencjału kuli wewnętrznej. Liczby, podane w tekście, oznaczają właśnie kąty skręcenia, są więc miarą potencjału. Faraday nie posiadał wykształcenia matematycznego, ale niezwykła intuicja często mu je zastępowała, wskazując zawsze trafne ujęcie zagadnienia. I w danym wypadku, posługując się bystrą przenikliwością, doszedł do sposobu zużytkowania pomiarów, zgodnego z tem, co daje rozumowanie matematyczne.

Jeśli przez $e$ oznaczymy nabój całkowity przyrządu II z powietrzem, przez $C$ jego pojemność, a przez $V_0$ napięcie, wymierzone zapomocą elektrometru, to $e = C.V_0$.

Jeśli stosunek pojemności obu przyrządów oznaczymy literą $K$, to pojemność przyrządu I będzie $KC$; po połączeniu oba przyrządy przybiorą jeden i ten sam potencjał $V$; nabój $e$ podzieli się pomiędzy oba, a ponieważ wspólna ich pojemność będzie $C+KC=C(K+1)$, więc dla $e$ mamy dwie wartości:

$$e = CV_0 = C(K+1)V$$

[1]) Wyniki pomiarów są wszystkie mniejsze od wartości, znalezionych metodami ulepszonemi; tak np. dla szellaku znaleziono 3,1, dla szkła około 5,6, dla siarki 3,7, dla terpentyny i nafty po 2,2. Rozmaite gazy, badane najpierw przez Boltzmann'a, mają stałe dielektryczne rozmaite ,ale różniące się od stałej dla próżni rzadko więcej, niż o 0,001; nadwyżki okazały się proporcjonalne do ich gęstości.

Skąd $$K = \frac{V_0 - V}{V}$$

Faraday oblicza istotnie tę wielkość, gdyż bierze:

$V_0 - V = 290^0 - 114^0 = 176^0$ a $V = 113^0$.

O ile nabój całkowity zostanie udzielony przyrządowi z szellakiem, to otrzymamy wzór analogiczny:

$$K = \frac{V}{V_0 - V}$$

odpowiadający rozumowaniu Faraday'a w dalszym tekście].

1295. Istota indukcji zdaje się zatem polegać na działaniu cząstek sąsiednich, za pośrednictwem których siła elektryczna, rodząca się lub pojawiająca w jednem miejscu, przenosi się i podtrzymuje aż na pewną odległość, gdzie objawia się też jako siła, o takiej samej wartości, lecz o kierunku i dążeniach odwrotnych (1164)...

1297. Indukcji, która działa, jak można przypuścić, wprost wzdłuż linij indukcji pomiędzy dwiema naelektryzowanemi i przewodzącemi powierzchniami granicznemi, towarzyszy siła boczna czyli poprzeczna, równoważna rozpieraniu się lub odpychaniu linij reprezentujących; mówiąc inaczej: sile przyciągania, działającej pomiędzy cząsteczkami dielektryku w kierunku indukcji, dowarzyszy siła odpychania lub rozbieżności w kierunku poprzecznym (1304).

1298. Indukcja polega, jak się zdaje, na pewnym stanie polaryzacji cząsteczek, w który wprowadza cząsteczki ciało naelektryzowane, wzbudzające działanie; w cząsteczkach powstają przytem punkty lub części dodatnie i ujemne, rozłożone symetrycznie względem siebie i względem powierzchni indukujących. Ten stan musi być stanem wymuszonym, gdyż powstaje i utrzymuje się tylko pod działaniem siły i powraca do stanu normalnego, czyli do stanu spoczynku, gdy tylko siła zostanie usunięta...

1304. Nazw linij siły indukcyjnej i krzywych linij sił używałem tylko w znaczeniu ogólnem, tak zupełnie, jak się mówi o linjach siły magnetycznej. Linje te są urojone, a siła w którejkolwiek ich części jest zatem wypadkową sił składowych, ponieważ każda cząsteczka jest związana z wszystkiemi innemi cząsteczkami we wszystkich kierunkach zapomocą napięć i oddziaływań cząsteczek przylegających. Siła poprzeczna jest tym samym związkiem, rozpatrywanym w kierunku ukośnym względem linij indukcji, i na razie nic więcej przez tę nazwę nie rozumiem. Co się

tyczy nazwy polaryzacji, to rozumiem przez nią narazie też tylko taki rozkład siły, przez który jedna i ta sama cząsteczka otrzymuje władze odwrotne w różnych swych punktach...

### Stała dielektryczna.

Pomiarów stałej dielektrycznej dokonywano bardzo dużo, szczególnie w ostatnich kilkunastu latach, kiedy zastosowano do nich metody drgań elektrycznych, opracowane w radiotelegrafji. Badania zależności od temperatury, od budowy chemicznej, od domieszek, dostarczyły cennych danych, dotyczących budowy drobin. W badaniach tych nie brak nazwisk uczonych polskich: M. Jeżewski (1924) pierwszy wykazał wpływ pola magnetycznego na stałą dielektryczną; M. Wolfke (1926), mierząc stałą dielektryczną ciekłego helu, uzyskał pierwszą wskazówkę, że ciekły hel istnieje w dwóch odmianach alotropowych (ob. też o polaryzacji elektr. w rozdz. VIII).

### Badania doświadczalne nad elektrycznością. (c. d.)

SERJA XX (r. 1845).

**O nowem działaniu magnetycznem i o stanie magnetycznym wszelkiej materji.**

Becquerel w r. 1827 zauważył, że igła drewniana w pobliżu silnego magnesu ustawia się poprzecznie; podobnie zachowują się niektóre inne ciała; Becquerel tłumaczy to tworzeniem się biegunów nie na końcach, lecz na bocznych powierzchniach igły.

§ 1.

2245. Zjawiska, które mam opisać, wymagają przyrządów o działaniu silnem i dającem się z łatwością kierować. Oba te warunki są zapewnione przez użycie elektromagnesów...

Ciała badane były zawieszane na pasku papieru, przymocowanym do nitki skręconej z jedwabiu.

2252. Będę musiał tak często wspominać o dwóch głównych położeniach w polu magnetycznem, że, dla uniknięcia omówień, pozwolę sobie wprowadzić parę nazw. Jedno z tych położeń jest od bieguna do bieguna, czyli wzdłuż linji siły magnetycznej; nazwę je kierunkiem osiowym. Drugie położenie jest prostopadłe do pierwszego, wpoprzek linij siły; ze względu na położenie względem biegunów, będę je nazywał równikowem...

§ 2.

**Działanie magnesu na szkło ołowiowe.**

2253. Pręcik z ciężkiego szkła, zawierającego ołów... 2 cale długi, a 0,5 cala gruby i szeroki, został zawieszony w środku pomiędzy biegunami i pozostawiony sobie, dopóki nie minęły skutki skręcenia nici. Wtedy pobudzono magnes do działania, łącząc go z baterją woltaiczną: pręcik natychmiast poruszył się i obrócił około punktu zawieszenia, przechodząc do położenia poprzecznego względem linij siły, i po kilku wahnięciach zatrzymał się w tem położeniu. Wyprowadzony z niego ręką, powracał do niego za każdym razem.

2254. Każdy z końców pręcika odchylał się to na tę, to na drugą stronę. Decydowało o tem poprostu pochylenie pręcika w jednę lub drugą stronę względem linji osiowej na początku doświadczenia... Pręcik przechodzi po najkrótszej drodze do położenia równikowego...

2259. Jeśli pręcik umieścić tak, że punkt jego zawieszenia, leżąc na linji osiowej, nie jest jednakowo odległy od biegunów, lecz bliżej jednego z nich, magnetyzm znów zmusza go do zajęcia położenia, prostopadłego względem linij sił... Ale jednocześnie występuje inne działanie, gdyż w chwili wytwarzania połączenia elektrycznego [z baterją Volty], środek ciężkości pręcika odchyla się od bieguna i pozostaje odepchnięty od niego, dopóki [elektro] magnes jest wzbudzony; gdy usuwamy magnetyzm, pręcik powraca do miejsca, jakie zajmuje naskutek ciężkości.

2263. Zamiast dwóch biegunów magnetycznych można użyć jednego i to w położeniu poziomem lub pionowem. Wyniki są w doskonałej zgodzie z dotychczas przytoczonemi...

2264. Aby osiągnąć zjawisko wskazywania kierunku wpoprzek linij magnetycznych, kształt szkła ołowiowego musi być podłużny; sześcian lub odłamek mniej więcej okrągły nie będzie wskazywał, kawałek podłużny będzie. Dwa lub trzy kawałki okrągłe lub sześciany, umieszczone obok siebie na papierowej tacce, tworzą zespół wydłużony i również będą wskazywały.

2265. Każda część jednak jest odpychana; jeśli zawiesić naraz dwa kawałki na linji osiowej, każdy blisko jednego z biegunów, to są one odpychane od biegunów i zbliżają się, jakgdyby się nawzajem przyciągały. Albo jeśli dwa kawałki zawiesić na linji równikowej, to oba oddalają się od osi, jakgdyby się odpychały nawzajem.

2266. Z tych niewielu szczegółów, które przytoczyłem, widać, że ruch pręta jest złożonym wynikiem sił, wywieranych przez magnes

na szkło ołowiowe, i że można otrzymać prostsze wskazówki co do działania, jeśli używać sześcianów lub kulek. Istotnie, gdy użyto sześcianu i dwóch biegunów, wynikiem było odpychanie lub uchylanie się przed biegunem, a także uchylanie się od osi magnetycznej w jednę lub drugą stronę.

2267. Cząsteczka próbna poruszałaby się więc to wzdłuż krzywych magnetycznych, to wpoprzek nich, i to raz w jednym, raz w drugim kierunku; jedynym wspólnym punktem jest w tem dążność do poruszania się od miejsc o silniejszem do miejsc o słabszem działaniu magnetycznem.

2268. To się przedstawia prościej w wypadku jednego bieguna magnetycznego, gdyż wtedy sześcian ma dążność do poruszania się wzdłuż linji siły magnetycznej w kierunku od magnesu. Miało to cechy ogromnie podobne do słabego odpychania elektrycznego.

2269. Przyczyna wskazywania przez pręt lub inną postać wydłużoną szkła ołowiowego jest teraz jasna. Jest to wyłącznie wynik dążenia cząsteczek do położenia najsłabszego działania magnetycznego. Łączny wpływ tych działań na wszystkie cząsteczki doprowadza całą masę do położenia, jakie można uwidocznić przez doświadczenie...

2270. ...powietrze, szkło, wodę i t. p. nazwałem ciałami diamagnetycznemi...

2276. Niebawem przekonałem się, że odpychanie przez magnesy nie jest wyłączną cechą szkła ołowiowego...

Faraday podaje długą listę 56 ciał o własnościach diamagnetycznych; ograniczymy się tu do podania najważniejszych:

| | |
|---|---|
| Kryształ górski. | Chleb. |
| Siarczany glinu, baru, sodu, potasu i magnezu. | Jabłko. |
| Spat islandzki. | Krew świeża i skrzepła. |
| Kwas winny i cytrynowy. | Mięso wołowe, świeże i suszone. |
| Woda, alkohol, eter. | Kość słoniowa, skóra. |
| Kwas solny i siarkowy. | Cukier, krochmal, drzewo. |
| Szkło. | Oliwa, terpentyna. |
| Jod, fosfór, siarka. | Guma arabska, lak, kauczuk. |

2281. Ciekawy jest widok takiej listy ciał, niespodziewanie wykazujących tę dziwną własność, a zadziwia fakt, że kawałek drzewa, wołowiny lub jabłka podlega działaniu magnesu. Gdybyśmy zawiesili z całą ostrożnością człowieka, jak to uczynił Dufay [raczej Gray], i umieścili go w polu magnetycznem, wskazywałby poło-

żenie równikowe; albowiem wszystkie substancje, z których się składa, nie wyłączając krwi, posiadają tę własność.

Wkońcu autor podaje wyniki badań, przeprowadzonych nad pręcikami metalowemi. Własności diamagnetyczne wykazały:

antymon, bizmut, kadm, miedź, złoto, ołów, rtęć, srebro, cyna, cynk.

Własności magnetyczne posiadają:

platyna, pallad, tytan.

## Własności magnetyczne ciał.

Zarówno Becquerel, jak Faraday uważali magnetyzm i diamagnetyzm za cechę, zależną jedynie od właściwości ciała, umieszczonego w polu magnetycznem.

ANTONI CEZAR BECQUEREL (1788 — 1878), protoplasta znanego rodu fizyków francuskich, obejmującego 4 pokolenia. Wyniki swych badań nad elektrycznością, magnetyzmem i zjawiskami meteorologicznemi zebrał w kilku dziełach; napisał też podręcznik fizyki.

Niemiecki fizyk Plücker zwrócił uwagę na rolę, jaką w zjawiskach magnetycznych odgrywa ośrodek, w którym jest zanurzone badane ciało.

Faraday sprawdził to, umieszczając rurkę z roztworem siarczanu żelaza w obszerniejszem naczyniu, napełnionem tym samym roztworem, lecz o różnem stężeniu. W roztworze słabszym rurka zachowywała się, jak ciało magnetyczne, lecz działanie pola było na nią tem słabsze, im silniejszy był roztwór zewnętrzny. Gdy stężenia były równe, rurka zachowywała się obojętnie; przy jeszcze zwiększonem stężeniu ośrodka rurka wykazywała własności diamagnetyczne, t. j. ustawiała się wpoprzek linij magnetycznych.

Faraday przypisuje linjom pola magnetycznego podwójną rolę: „Linje siły magnetycznej mogą być rozpoznane przez działanie albo na bieguny igły magnetycznej, albo na przewodnik, poruszający się wpoprzek linij. Każde z tych działań może być użyte do wykazania czy to kierunku linij, czy też siły, jaką wywierają w danym punkcie..." (Serja XXVIII, Nr. 3076). — Dalsze badania doświadczalne i rozważania teoretyczne doprowadziły do wniosku, że wartości „działania", zmierzone zapomocą tych dwóch objawów pola magnetycznego, dają jednakowe wyniki tylko wtedy, gdy pole rozciąga się zawsze w jednym i tym samym ośrodku, np. w próżni. Z chwilą, gdy zmieniamy ośrodek, np. wzbudzamy pole w materji magnetycznej lub diama-

gnetycznej, każde z wymienionych dwu działań doprowadzi do wartości odmiennej.

Maxwell (ob. niż.) stworzył współczesną teorję pola magnetycznego, odróżniając natężenie pola magnetycznego (siła wywierana na biegun jednostkowy) od indukcji magnetycznej (warunkującej siłę elektromotoryczną wzbudzanego prądu indukcyjnego). Musimy więc odróżniać dwa rodzaje linij magnetycznych: linje siły magnetycznej i linje indukcji magnetycznej, które tylko w próżni są z sobą zgodne co do kierunku i co do liczby. Stosunek indukcji do natężenia pola jest charakterystyczny dla danej substancji i otrzymał nazwę zdolności magnetycznej, nadaną mu przez W. Thomsona (ob. dział Ciepła). Na podstawie, stworzonej przez Maxwell'a, rozwinęła się teorja matematyczna pola magnetycznego.

Teorja ta, ujmując ilościową stronę zjawisk magnetycznych, nie wnika w mechanizm badanych zjawisk. Fizyczna teorja magnetyzmu jest dalszem rozwinięciem idei prądów elementarnych Ampère'a (ob. str. 81). W swej pierwotnej postaci miała ona jednę słabą stronę, mianowicie nie mogła wytłumaczyć, dlaczego prąd, obiegający atom ciała magnetycznego, nie wytwarza ciepła, a wyczerpując w ten sposób swoją energję, nie zanika.

Odpowiedź na to pytanie stała się możliwa dopiero na podstawie teorji elektronów (ob. dział Jony i Elektrony). Teorję magnetyzmu na tej podstawie opracował francuski fizyk Paweł Langevin (ur. w 1872). Prądy elementarne są skutkiem obiegu kołowego elektronów, wchodzących w skład atomu; ruch naboju elektrycznego wytwarza pole magnetyczne (ob. niżej pracę Rowlanda), zatem elektron, poruszający się po zamkniętym torze, działa jak mały, elementarny magnes.

Ponieważ ruch taki, jak zakłada teorja, nie napotyka na żadne przeszkody, przeto trwa wiecznie i bez zmian — co właśnie stanowi niezbędną cechę magnesu elementarnego.

Zjawiska diamagnetyczne wytłomaczył Langevin zapomocą praw indukcji; na podstawie zasady Lenza (ob .str. 105) prądy, wzbudzane w jakimkolwiek przewodniku przy zbliżaniu doń magnesu, przeciwdziałają temu ruchowi, czyli że siły, działające pomiędzy magnesem, wzbudzającym pole, a wzbudzonemi prądami indukcyjnemi, są siłami odpychającemi. Takie właśnie odpychanie zachodzi pomiędzy magnesem, a zbliżonem doń ciałem diamagnetycznem; można więc przypuścić, że w ciele tem powstają pod wpływem rosnącego pola magnetycznego elementarne prądy indukcyjne, czyli że elektro-

ny zostają pobudzone do ruchu kołowego; zanikanie pola pobudza do ruchu w kierunku odwrotnym, czyli tamuje ruch nabyty, tak że po usunięciu pola ciało pozostaje magnetycznie obojętne.

Diamagnetyzm różni się więc zasadniczo od ferromagnetyzmu żelaza, niklu i kobaltu; tam bowiem ruchy kołowe elektronów nie są wzbudzane, lecz istnieją już w atomach, a pole tylko porządkuje kierunki ich osi; po usunięciu pola wzajemne oddziaływania magnesów elementarnych niszczą uporządkowanie tylko częściowo; ciało zachowuje pewną pozostałość magnetyczną.

## Maxwell o metodzie Ampère'a i Faraday'a.

Na zakończenie przytaczamy ustęp, zaczerpnięty z książki Maxwell'a: A Treatise on Electricity and Magnetism (Cz. IV, Rozdz. III), zawierający piękną charakterystykę metody, jaką Faraday posługiwał się w swych badaniach, oraz porównanie jej z metodą Ampère'a.

Metoda, którą posługiwał się Faraday w swych badaniach, polegała na ciągłem odwoływaniu się do doświadczenia, jako do środka sprawdzenia ścisłości pojęć, i na ciągłem rozwijaniu pojęć pod bezpośrednim wpływem doświadczenia. W ogłoszonych przez niego badaniach spotykamy się z jego poglądami, wyrażonemi językiem, który jest najwłaściwszy dla rodzącej się nauki, gdyż różni się nieco od stylu fizyków, przywykłych do ujmowania pojęć, przelanych w kształty matematyczne.

Badania doświadczalne, na których Ampère oparł prawa działania mechanicznego, jakie wywierają na siebie prądy elektryczne, stanowią jeden z najświetniejszych czynów naukowych.

Wydaje się, że ten zespół teorji i doświadczenia wytrysnął w pełnym rozwoju i w pełnej zbroi z mózgu „Newton'a elektryczności". Forma jego jest doskonała, ścisłość bez zarzutu, a całość streszcza się w jednym wzorze, z którego można wyprowadzić wszystkie zjawiska i który musi nazawsze pozostać wzorem zasadniczym elektrodynamiki.

Ale metoda Ampère'a, chociaż przybrana w postać indukcji, nie pozwala nam śledzić tego kształtowania się pojęć, które nią kierowało. Trudno nam uwierzyć, aby Ampère odkrył prawo działania istotnie zapomocą doświadczeń, jakie opisuje. Zaczynamy podejrzewać, o czem sam zresztą mówi, że odkrył swe prawo, posługując się jakąś metodą, której nam nie pokazuje, a następnie, zbudowawszy dowód doskonały, zatarł wszelki ślad rusztowania, które służyło do jego wzniesienia.

Tymczasem Faraday pokazuje nam wszystkie swe doświadczenia, udane i nieudane, pomysły swoje i w stanie surowym i w pełnym rozkwicie; a czytelnik, choćby był bez porównania niższy od niego pod względem zdolności indukcyjnych, odczuwa więcej jeszcze sympatji, niż podziwu, i waży się mniemać, że i on dokonywałby odkryć, gdyby miał tylko do tego sposobność. Więc każdy student będzie musiał czytać badania Ampère'a jako wspaniały wzór stylu naukowego w opisywaniu odkrycia, ale będzie też musiał studjować Faraday'a, by kształcić ducha naukowego przez działanie i przeciwdziałanie, jakie powstaną pomiędzy faktami świeżo odkrytemi, tak jak mu je Faraday przedstawi, a pomiędzy myślami, rodzącemi się w jego własnym umyśle.

Było to, być może, z korzyścią dla nauki, że Faraday, chociaż posiadał doskonałą znajomość pojęć zasadniczych czasu, przestrzeni i siły, nie był matematykiem z zawodu. Nie kusił się o zagłębianie w liczne i ciekawe dociekania matematyki czystej, jakieby mu podsuwały jego odkrycia, gdyby zostały ujęte w formy matematyczne, i nie czuł się powołanym do narzucania swym pomysłom kształtów, które odpowiadałyby gustowi matematycznemu epoki, ani do wyrażania ich w postaci, która pozwoliłaby matematykom na zajęcie się nimi. W ten sposób miał dość czasu na wykonanie swej pracy osobistej, na uzgodnienie swych myśli z doświadczeniem i na wyrażenie ich językiem zwykłym i technicznym...

## Rozdział VIII.

# TEORJA PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH.

## JAMES CLERK MAXWELL[1]).

*(1831 — 1879).*

URODZONY 13 czerwca 1831 r., był potomkiem starej, zamożnej rodziny ziemian szkockich. Był synem John'a Clerk Maxwell'a, człowieka o charakterze szlachetnym i niezależnym, obdarzonego niepospolitą i samodzielną inteligencją, umysłem żywym i wszechstronnym. Pod jego okiem, w wiejskiej siedzibie, w atmosferze wysokiej kultury umysłowej wychowywał się młody James. Ojciec, wykształcony wielostronnie, interesujący się rozmaitemi dziedzinami twórczości ludzkiej, niezależny w sądach i postępkach aż do ekscentryczności, miał silny wpływ na syna, który zawsze obdarzał go nietylko gorącą miłością synowską, ale także przyjaźnią i zaufaniem. „Najwięcej w życiu, jeśli nie wszystko", mówił, „zawdzięczamy rodzicom". Gdy miał lat 10, oddano go do szkoły, czyli t. zw. akademji w Edynburgu. Wcześnie rozwijane zdolności wczesne też wydały owoce: mając lat zaledwie 14, Maxwell dokonał pierwszego odkrycia naukowego; kreśląc elipsy znanym sposobem zapomocą nitki i dwóch szpilek, wpadł na pomysł uogólnienia tego sposobu. Elipsa, jak wiadomo, posiada tę własność, że suma odległości każdego jej punktu od dwóch punktów stałych (ognisk) jest wielkością stałą. Zapomocą dowcipnej kombinacji nitek i szpilek Maxwell zaczął kreślić krzywe o większej ilości ognisk oraz takie, w których nie same odległości od ognisk, lecz ich wielokrotności mają sumę niezmienną. Znany matematyk, Forbes, który stwierdził, że otrzymane krzywe odpowiadają krzywym, znanym w matematyce pod nazwą owalów Descartes'a, i że podany przez Maxwell'a

---

[1]) Przy pisaniu życiorysu korzystaliśmy, między innemi, z odczytu p. J. J. Boguskiego. „Światło", Warszawa, r. 1898/9, str. 267.

sposób ich kreślenia jest istotnie zupełnie nowy, przedstawił pracę młodocianego badacza Towarzystwu Królewskiemu w Edynburgu.

Od r. 1843 do 1850, jako słuchacz uniwersytetu edynburskiego, Maxwell studjuje gorliwie fizykę i matematykę, pracując jednocześnie nad filozofją (Kanta i Hobbes'a), logiką i psychologją; kilka samodzielnych prac z matematyki i fizyki powstało w tym samym czasie.

Po trzyletnim pobycie na uniwersytecie w Cambridge i uzyskaniu stopni naukowych, wykładał fizykę i astronomję początkowo w jednej ze szkół (college) w Cambridge, następnie w uniwersytecie w Aberdeen, w końcu w King's College w Londynie. W tej epoce zaczął studjować szczegółowo pisma Faraday'a i pod ich wpływem pracować nad teorją elektryczności; rozprawy: „O linjach Faraday'a", „O fizycznych linjach sił" i „Teorja dynamiczna pola elektromagnetycznego", ogłoszone od roku 1855 do 1864, zawierają już zawiązki poglądów, które później rozwinął świetnie w swem wielkiem dziele o elektryczności i magnetyzmie. W r. 1859 ogłosił rozprawę „O stałości równowagi pierścieni Saturna", w której dowodził na podstawie obliczeń matematycznych, że pierścienie tego kształtu nie mogą być jednorodne, że zatem składają się prawdopodobnie z mnóstwa oddzielnych brył, jakby maleńkich księżyców, krążących gromadnie około planety; bezpośrednie obserwacje astronomiczne zdają się potwierdzać w sposób niewątpliwy ten wniosek teoretyczny.

W roku 1868 Maxwell porzucił wszystkie zajęcia szkolne i, usunąwszy się w zacisze wsi rodzinnej, oddał się tam niepodzielnie różnorodnym badaniom naukowym. Pracował więc nad teorją barw i widzenia barwnego, rozwijając i sprawdzając doświadczalnie teorję Young'a trzech barw zasadniczych; podczas odczytu, w którym zebrał wyniki swych dociekań, pokazał po raz pierwszy fotografję barwną, rzucając na ekran trzy zdjęcia w trzech barwach zasadniczych tak, że się pokrywały nawzajem [1]). Zajmowały go także zagadnienia teorji ciepła, w szczególności kinetyczna teorja gazów, w której dokonał ważnych odkryć [2]). Ale dziełem jego życia, które daje mu tytuł do sławy wszechświatowej, są prace, poświęcone teorji zjawisk elektrycznych i magnetycznych; tę teorję ujął w formę osta-

[1]) Polski przekład streszczenia tego odczytu był pomieszczony w czasopiśmie „Światło", które wychodziło pod redakcją J. J. Boguskiego. (Warszawa r. 1898/9 Nr. 5 i 6).

[2]) Odczyt „O cząsteczkach ciał" drukowany w czasopiśmie „Przyroda i przemysł" w r. 1873. Ob. t. I, Kinetyczna teorja gazów i cieczy.

teczną w wielkiem swem dziele „O elektryczności i magnetyzmie", z którego wyjątki przytaczamy poniżej w tłumaczeniu. Zasadnicze pomysły tej teorji Maxwell zaczerpnął z dzieł Faraday'a, ubierając je w szaty twierdzeń matematycznych.

Trudno sobie wyobrazić większy kontrast w sposobie zdobywania wiedzy i w metodzie badania, niż ten, jaki istniał pomiędzy obu współtwórcami tej teorji. Faraday — samouk, wszystko zdobywający własną pracą, tej okoliczności zawdzięczał nowość i oryginalność swych pojęć; jednak brak przygotowania matematycznego często utrudniał mu ich rozwinięcie. Maxwell — znakomicie wyszkolony specjalista, o umyśle kultywowanym starannie, kierowany umiejętnie od lat najmłodszych, korzystający z pomocy najlepszych profesorów, posiadał gruntowną znajomość tego przez wieki wyrobionego narzędzia myślenia i porozumiewania się, jakiem jest matematyka. Ci dwaj ludzie, pracując nad jednem i tem samem zagadnieniem, dopełniali się wzajemnie; co jeden stworzył genjalną intuicją, karmioną przez niezwykłe zżycie się z tajnikami natury i uzasadnił znakomitemi doświadczeniami, to drugi opracował w formie matematycznej i ściśle logicznej. Pomysły Faraday'a, dotyczące rozchodzenia się działań elektrycznych poprzez ośrodki izolujące, wskutek swej niejasności i oryginalności, nie były zupełnie zrozumiane i uwzględniane w rozwoju teoryj naukowych; od czasu badań Maxwell'a stały się one dorobkiem ogólnym i zaczęły przenikać do szerokich kół.

Analiza matematyczna pozwoliła Maxwell'owi wyciągnąć w sposób ścisły z założeń teorji takie wnioski, których istnienie Faraday mógł zaledwie niejasno przeczuwać. Takim wnioskiem było przepowiedzenie możliwości istnienia fal elektromagnetycznych, rozchodzących się z szybkością równą szybkości światła; fale te urzeczywistnił Hertz, a Marconi zastosował je do przesyłania sygnałów. Maxwell'owi należy się więc słusznie nazwa ojca duchowego telegrafji iskrowej.

Faraday już przeczuwał, że pomiędzy elektrycznością i światłem istnieje jakiś nader ścisły związek, i że podłoże zjawisk świetlnych — eter — może być również podłożem działań elektrycznych. Maxwell nadał temu twierdzeniu kształty ściśle określone, uważając fale świetlne za szczególny wypadek fal elektromagnetycznych, których istnienie wypływało z jego teorji. Stworzona przez niego w ten sposób teorja elektromagnetyczna światła nie zbijała dawnej teorji falowej, lecz podsuwała inne zrozumienie zjawiska falowania: zamiast interpretacji mechanicznej wprowadzała elektryczną; tę rolę,

jaką w teorjach klasycznych Fresnel'a i Young'a (patrz „Optyka") odgrywały przesunięcia w eterze i szybkość ich zmian, Maxwell przypisał natężeniom pól: elektrycznego i magnetycznego. Teorja jego tłumaczyła więc wszystko to, co i teorja klasyczna, lecz nadto zdawała sprawę z szeregu zależności pomiędzy światłem a elektrycznością i magnetyzmem, których tamta wyjaśnić nie potrafiła.

Szkic, rzucony przez Maxwell'a, został następnie rozwinięty przez Helmholtz'a, Lorentz'a, Drude'go i innych, a elektromagnetyczna teorja światła stanowi dziś jeden z najpotężniejszych filarów fizyki współczesnej.

Swoje dzieło o elektryczności Maxwell wykończył, a następnie przerobił do drugiego wydania (wyszło po jego śmierci) już w Cambridge, dokąd został powołany dla zajęcia świeżo utworzonej katedry fizyki doświadczalnej oraz dla kierowania pracownią fizyczną imienia Cavendish'a, zbudowaną według jego projektu i pod jego nadzorem. Na nowem stanowisku Maxwell rozwinął gorliwą działalność pedagogiczną, ale nie długo mogła się nim szczycić stara uczelnia angielska, gdyż w r. 1879 zmarł po krótkiej chorobie, przeżywszy zaledwie 48 lat.

Maxwell, jak wielu znakomitych uczonych ziomków jego, był jednocześnie świetnym popularyzatorem; oprócz szeregu odczytów publicznych i wykładów popularnych, jakie miał w Londynie dla robotników, pozostawił nam dwie książki — arcydzieła literatury popularnej, niedoścignione wzory głębokiego, jasnego i artystycznie pięknego ujęcia przedmiotu. Są to „Theory of Heat" (Teorja ciepła) i „Matter and Motion" (Materja i ruch), przełożona na język polski przez S. Dicksteina[1]).

Charakter miał mocny i szlachetny. „Najuprzejmiejszy z ludzi", mówi o nim fizyk angielski Tait, „choć zupełnie wolny od wszelkiego śladu zazdrości lub złej woli, przy nadarzonej sposobności dawał wyraz pogardzie dla tej pseudo-nauki, która u nieuków szuka poklasku, ucząc, że cały układ wszechświata daje się sprowadzić do przypadkowego następstwa bezprzyczynowych zdarzeń".

Był to niewątpliwie jeden z najpotężniejszych umysłów XIX wieku. Bujna wyobraźnia twórcza i zdolności kombinacyjne łączyły się u niego z potęgą myśli logicznej, ze ścisłością matematyka i zręcznością eksperymentatora, doprowadzonemi do wysokiego stopnia doskona-

[1]) Warszawa, 1879.

łości przez mądre i staranne wychowanie. Głębia myśli, śmiałość hipotez i styl żywy, jasny a ścisły stanowią o uroku jego dzieł.

Teorja Maxwell'a początkowo nie była dostatecznie oceniana, — szczególnie przez uczonych lądu stałego, przywiązanych do pojęć dawniejszych, stworzonych przez Coulomb'a i Ampère'a, ale wpływ jego dzieł rósł stopniowo, póki nie zapanował powszechnie Ogrom pracy, potrzebny na przetrawienie całej niezmiernej dziedziny zjawisk i względnie krótki czas, przez który danem było Maxwell'owi pracować nad swoją teorją, sprawiły, że nie jest ona jednolita i wykończona, uległa też później zmianom i uzupełnieniom; nawet zasadnicze założenie Maxwell'a — wyjaśnienie mechaniczne zjawisk elektrycznych zapomocą napięć w eterze i ruchów płynu nieściśliwego — uległo krytyce i zostało odrzucone. Ale to, rzec można, było tylko pretekstem do podjęcia właściwego zagadnienia: stwierdzenia ścisłej zależności pomiędzy polem elektrycznem i magnetycznem zarówno w próżni, jak i w ośrodku materjalnym i ujęcia tej zależności w układ równań, stanowiących podstawę dzisiejszych teoryj elektryczności i światła.

W wypadku pól niezmiennych, statecznych teorja Faraday'a-Maxwell'a tłumaczy zjawiska równie dobrze, jak dawna teorja działań na odległość, tylko ujmuje je z innej strony. Dopiero zmiany pól przynoszą rozstrzygnięcie pomiędzy teorjami. Dawna — nie przewiduje żadnych dalszych konsekwencyj, nowa — stwierdza, że każda zmiana pola elektrycznego czy magnetycznego staje się źródłem fali elektromagnetycznej, rozchodzącej się poprzez ośrodek izolujący ze skończoną i zupełnie określoną prędkością. Rozstrzygnięcie pomiędzy temi dwoma stanowiskami na korzyść teorji Maxwellowskiej przypadło w udziale H. Hertzowi.

## Wyjątki z „Elektryczności i Magnetyzmu".

### Plan dzieła (o polaryzacji elektrycznej).

W dziele tem zamierzam przedstawić najpierw zwykłą teorję działań elektrycznych, która uważa je za zależne jedynie od ciał naelektryzowanych i ich położenia względem siebie, i która nie bierze w rachubę zjawisk, jakie mogą zachodzić w ośrodkach pośredniczących...

---

[1]) A. Treatise on Electricity and Magnetism, by James Clerk Maxwell M. A. 2 tomy. Wyd. 1-e; tłumaczono z wyd. 3-go, 1904.

Następnie zbadamy pewne twierdzenia ogólne, w których Green, Gauss i Thomson określili warunki rozwiązania zagadnień, dotyczących rozmieszczenia elektryczności...

W twierdzeniu Thomson'a energja całkowita układu wyraża się całką pewnej wielkości, obejmującą całkowitą przestrzeń, zawartą pomiędzy ciałami naelektryzowanemi, albo też inną całką, wziętą tylko dla powierzchni naelektryzowanych. Równości tych dwóch wyrażeń można nadać następującą interpretację fizyczną. Związek fizyczny pomiędzy ciałami naelektryzowanemi możemy pojmować albo jako wynik stanu, w którym się znajduje ośrodek pośredniczący, albo jako wynik działania bezpośredniego, wywieranego na odległość przez ciała naelektryzowane. Przyjmując drugi z tych poglądów, możemy znaleźć prawo działania, ale nie możemy posunąć się dalej w dociekaniu jego przyczyn. Jeśli natomiast przyjmiemy myśl działania poprzez ośrodek, musimy zbadać naturę tego działania w każdym punkcie ośrodka.

Z twierdzenia Thomson'a wynika, że, jeśli mamy upatrywać siedlisko energji elektrycznej w różnych częściach ośrodka dielektrycznego, to ilość energji, zawartej w każdej z cząstek ośrodka, musi zależeć od iloczynu kwadratu natężenia elektrycznego wypadkowego w danym punkcie przez współczynnik, zwany zdolnością indukcyjną właściwą ośrodka [stałą dielektryczną].

Jeśli na podstawie tej hipotezy obliczymy energję całkowitą, umiejscowioną w ośrodku, to znajdziemy, że jest ona równa energji, jaka, zgodnie z hipotezą działania bezpośredniego na odległość, jest wytworzona przez naelektryzowanie przewodników. Obie hipotezy, rozpatrywane matematycznie, są więc równoważne.

Jeśli teraz przystąpimy do zbadania stanu mechanicznego ośrodka, przyjąwszy hipotezę, że działanie mechaniczne, jakie istnieje pomiędzy ciałami naelektryzowanemi, jest wywierane poprzez i za pośrednictwem ośrodka, podobnie jak w dobrze znanych przykładach działania jednego ciała na drugie przy pomocy naprężonego sznura lub uciskanego pręta, — to dojdziemy do wniosku, że ośrodek znajduje się w stanie napięcia mechanicznego.

Istota tego napięcia polega, jak to wykazał Faraday, na ciągnieniu w kierunku linij sił, połączonem z równem mu rozpieraniem we wszystkich kierunkach, prostopadłych do tych linij. Wielkość tych napięć jest proporcjonalna do energji naelektryzowania, przypadającej na jednostkę objętości, albo, innemi słowy, do iloczynu kwadratu

natężenia elektrycznego wypadkowego przez zdolność indukcyjną właściwą ośrodka.

Istnieje jeden tylko rozkład napięć, zgodny zarówno z rzeczywistem działaniem mechanicznem ciał naelektryzowanych, jak i ze spostrzeganymi warunkami równowagi otaczającego je dielektryku ciekłego. Przypuszczałem więc, że przypisanie tym napięciom istnienia rzeczywistego i zbadanie wniosków, jakie stąd wypływają, będzie postępowaniem naukowo usprawiedliwionem.

. . . . . . . . . . . . . . . .

Ustaliwszy te wyniki, jesteśmy przygotowani do dalszego kroku— do wytworzenia sobie poglądu na istotę polaryzacji dielektrycznej w ośrodku dielektrycznym.

Mówimy, że elementarna cząstka ciała jest spolaryzowana, gdy przybiera własności równe i przeciwne po stronach przeciwnych. Pojęcie polaryzacji wewnętrznej może być najlepiej studjowane na przykładzie magnesów stałych...

Polaryzacja elementarnej cząstki dielektryku jest stanem wymuszenia, w jaki ośrodek ten został wprowadzony przez działanie natężenia elektrycznego, który jednak ustępuje, gdy to natężenie znika. Można przypuszczać, że ów stan polega na tem, co moglibyśmy nazwać przesunięciem elektrycznem, wywołanem przez natężenie elektryczne. Gdy siła elektromotoryczna działa na ośrodek przewodzący, wywołuje w nim prąd; lecz gdy ośrodek jest nieprzewodzący czyli dielektryczny, elektryczność nie może (w sposób ciągły) płynąć przez ośrodek; jednakże ulega wewnątrz ośrodka przesunięciu w kierunku natężenia elektrycznego; rozległość tego przesunięcia zależy od wielkości natężenia elektrycznego tak, że, jeśli natężenie elektryczne zwiększa się lub zmniejsza, przesunięcie zwiększa się lub zmniejsza w tym samym stosunku.

Miarą wielkości przesunięcia jest ilość elektryczności, która przechodzi skroś jednostki powierzchni w czasie, w ciągu którego przesunięcie wzrasta od zera do najwyższej wartości; taką jest też więc miara polaryzacji elektrycznej...

Zmiany przesunięcia elektrycznego tworzą, jak widzimy, prądy elektryczne. Te prądy mogą jednak istnieć tylko podczas zmian przesunięcia, a ponieważ przesunięcie nie może przekroczyć pewnej wartości, nie wywołując rozbrojenia przez iskrę, przeto prądy te nie mogą trwać w jednym kierunku nieograniczenie długo, jak to czynią prądy w przewodnikach...

Jeśli nabój $e$ rozłożyć jednostajnie na powierzchni kuli, to natężenie wypadkowe w dowolnym punkcie ośrodka, otaczającego kulę, jest proporcjonalne do naboju $e$, podzielonego przez kwadrat odległości od środka kuli. Zgodnie z naszą teorją, natężeniu temu towarzyszy przesunięcie elektryczności w kierunku, zwróconym od kuli.

Zakreślmy teraz powierzchnię spółśrodkową o promieniu $r$; przesunięcie całkowite $E$ poprzez tę powierzchnię będzie proporcjonalne do natężenia wypadkowego, pomnożonego przez pole powierzchni kulistej. Ale natężenie elektryczne jest proporcjonalne do naboju $e$ i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu promienia, natomiast powierzchnia jest do kwadratu promienia wprost proporcjonalna.

Zatem przesunięcie całkowite $E$ jest proporcjonalne do naboju $e$ i niezależne od promienia.

Przesunięcie elektryczne poprzez jakąkolwiek powierzchnię kulistą, spółśrodkową z kulą naelektryzowaną, liczone od wewnątrz ku zewnątrz, równa się nabojowi tej kuli.

W celu ustalenia naszych poglądów na przesunięcie elektryczne, rozpatrzmy kondensator, złożony z dwóch płyt przewodzących $A$ i $B$, oddzielonych warstwą dielektryku $C$. Oznaczmy przez $W$ drut przewodzący, łączący $A$ z $B$, i przypuśćmy, że dzięki działaniu siły elektromotorycznej pewna ilość elektryczności dodatniej $Q$ zostaje przeniesiona z $B$ do $A$. Naelektryzowanie dodatnie płyty $A$ i ujemne płyty $B$ wywoła w warstwie dielektryku natężenie elektryczne, skierowane od $A$ do $B$, a to natężenie sprawi przesunięcie elektryczne od $A$ ku $B$ w łonie dielektryku. Wielkość tego przesunięcia, mierzona ilością elektryczności, przepędzonej poprzez przekrój pomyślany dielektryku, dzielący go na dwie warstwy, będzie, zgodnie z naszą teorją, ściśle równa ilości $Q$...

Widzimy więc, że w tym samym czasie, w którym pewna ilość elektryczności zostaje przez siłę elektromotoryczną przeniesiona wzdłuż drutu od $B$ do $A$, przepływając przez każdy przekrój drutu, taka sama ilość elektryczności przechodzi przez każdy przekrój dielektryku od $A$ ku $B$ wskutek przesunięcia elektrycznego.

Odwrotny ruch elektryczności odbywa się podczas rozbrojenia kondensatora. W drucie rozbraja się ilość $Q$ w kierunku od $A$ do $B$, w dielektryku przesunięcie znika i elektryczność w ilości $Q$ przechodzi przez wszystkie przekroje w kierunku od $B$ ku $A$.

Zatem elektryzowanie i rozbrajanie może być w każdym wypadku uważane za ruch po obwodzie zamkniętym, tak że przez każdy jego przekrój przepływa w tym samym czasie ta sama ilość elektryczności; a stosuje się to nietylko do obwodu woltaicznego, dla którego zawsze to uznawano, ale i do tych wypadków, w których, jak przypuszczano ogólnie, elektryczność gromadzi się w pewnych punktach.

Doszliśmy więc do wniosku bardzo osobliwego, który wynika z rozpatrywanej teorji, a mianowicie, że ruchy elektryczności są podobne do ruchów płynu *nieściśliwego*, tak, że ilość całkowita, zawarta wewnątrz urojonej powierzchni, określonej i zamkniętej, pozostaje zawsze ta sama. Na pierwszy rzut oka wynik ten jest w jawnej sprzeczności z faktem, że możemy naelektryzować przewodnik i wprowadzić go do przestrzeni zamkniętej, zwiększając w ten sposób ilość elektryczności w tej przestrzeni. Lecz nie zapominajmy o tem, że zwykła teorja nie bierze w rachubę przesunięć elektrycznych w dielektrykach, co właśnie stanowiło przedmiot naszych rozważań.

## Porównanie jednostek elektrostatycznych i elektromagnetycznych.

Wyznaczenie liczby jednostek elektrostatycznych elektryczności, zawartych w jednostce elektromagnetycznej.

768) Wielkość bezwzględna jednostek w obu układach zależy od przyjętych jednostek długości, czasu i masy, a rodzaj tej zależności jest różny w obu układach, tak że stosunek jednostek elektrycznych będzie się wyrażał różnemi liczbami, gdy będziemy przyjmowali różne jednostki długości i czasu.

Z tablicy wymiarów wynika, że ilość jednostek elektrostatycznych elektryczności, zawartych w jednostce elektromagnetycznej zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do wielkości przyjętej jednostki długości, a wprost proporcjonalnie do wielkości przyjętej czasu [1]).

Jeśli więc wyznaczymy prędkość, którą wyraża ta liczba, to, gdybyśmy nawet przyjęli nowe jednostki długości i czasu, liczba, wyrażająca tę prędkość, będzie zawsze liczbą jednostek elektrostatycznych elektryczności, zawartych w jednostce elektromagnetycznej wymierzonych na podstawie nowego układu miar.

---

[1]) Wymiar jednostki elektrostatycznej jest: $cm^{3/2}\, gr^{1/2}\, sek^{-1}$, a jednostki elektromagnetycznej: $cm^{1/2}\, gr^{1/2}$. Stosunek obu wymiarów daje $cm.\, sek^{-1}$, czyli wymiar jednostki prędkości.

Zatem prędkość ta, wskazująca na związek pomiędzy zjawiskami elektrostatycznemi i elektromagnetycznemi, jest wielkością przyrodzoną o wartości oznaczonej, a pomiar jej jest jednym z najdonioślejszych przedmiotów badania w dziedzinie elektryczności...

Chcąc nadać tej szybkości znaczenie fizyczne, Maxwell rozpatruje dwie powierzchnie równoległe naelektryzowane, poruszające się z pewną prędkością we własnych płaszczyznach. Naboje ich odpychają się, a prądy, jakie tworzą poruszające się naboje elektryczne, przyciągają się nawzajem. Prosty rachunek wskazuje, że oba te działania znoszą się, jeśli prędkość ruchu płaszczyzn jest równa stosunkowi jednostek elektrycznych.

770) Gdyby gęstość powierzchniowa naboju i szybkość mogły być tak wielkie, że siła magnetyczna stałaby się wielkością dostrzegalną, moglibyśmy przynajmniej sprawdzić nasze przypuszczenie, że ciało naelektryzowane w ruchu jest równoważne prądowi elektrycznemu.

Rachunek liczbowy dowodzi, że jest to rzeczą zupełnie możliwą. [To doświadczenie zostało później urzeczywistnione przez Rowlanda (ob. niż.)].

## I. Porównanie jednostek elektrycznych.

771) Ponieważ stosunek jednostki elektromagnetycznej elektryczności do jednostki elektrostatycznej wyraża się przez prędkość, będziemy na przyszłość używali do jego oznaczenia symbolu $v$. Pierwszego liczbowego wyznaczenia tej szybkości dokonali Weber i Kohlrausch.

Metoda ich polegała na mierzeniu dwóch równych sobie ilości elektryczności najpierw w jednostkach elektrostatycznych, następnie w elektromagnetycznych.

Mierzono ilość elektryczności, stanowiącą nabój butelki lejdejskiej. Jego miarą elektrostatyczną był iloczyn pojemności butelki przez różnicę potencjału okładek. Pojemność butelki znaleziono, porównywując ją z pojemnością kuli, zawieszonej w otwartej przestrzeni, zdala od innych ciał. Pojemność takiej kuli w miarach elektrostatycznych wyraża się jej promieniem. W ten sposób można znaleźć pojemność butelki i wyrazić ją jako pewną długość.

Różnicę potencjału okładek butelki mierzono przez łączenie ich z elektrodami elektrometru, którego stałe były starannie wyznaczone; różnica potencjału była więc znana w miarach elektrostatycznych.

Mnożąc ją przez pojemność butelki, znajdowano nabój butelki, wyrażony w miarach elektrostatycznych.

Chcąc wyznaczyć wartość naboju w miarach elektromagnetycznych, rozbrajano butelkę poprzez zwoje galwanometru. Działanie przechodzącego prądu udzielało magnesowi galwanometru pewnej prędkości kątowej. Magnes odchylał się więc aż do pewnego położenia, przy którem szybkość jego zostawała w zupełności wyczerpana przez przeciwdziałanie magnetyzmu ziemskiego.

Obserwując krańcowe odchylenie magnesu, możemy obliczyć ilość rozbrojonej elektryczności (w miarach elektromagnetycznych... [ob. Faraday, str. 104].

Wartość dla $v$, znaleziona przez pp. Weber'a i Kohlrausch'a, była: $v = 310740000$ metrów na sekundę...

II. „$v$" wyrażone jako opór.

772) Dwie inne metody wyznaczania $v$ prowadzą do wyrażenia wartości jego jako oporu danego przewodnika, który, w układzie miar elektromagnetycznym również wyraża się jako prędkość [1]).

Przy tej formie doświadczenia, jaką mu nadał Sir William Thomson, prąd stały przepływa przez drut o wielkim oporze. Siła elektromotoryczna, pędząca prąd poprzez drut, jest mierzona elektrostatycznie przez połączenie końców drutu z elektrodami elektrometru bezwzględnego. Natężenie prądu w drucie mierzy się elektromagnetycznie przez odchylenie zwojów ruchomych elektrodynamometru, przez który prąd przepływa. Opór obwodu znany jest w miarach elektromagnetycznych przez porównanie z oporem wzorcowym lub z omem. Mnożąc natężenie prądu przez opór, otrzymujemy siłę elektromotoryczną w miarach elektromagnetycznych, a przez porównanie tej wartości z jej miarą elektrostatyczną otrzymujemy wartość dla $v$.

Ta metoda wymaga wyznaczenia dwóch sił jednocześnie, zapomocą elektrometru oraz elektrodynamometru, a wynik zawiera jedynie stosunek tych dwóch sił.

773) Inna metoda, oparta nie na mierzeniu tych sił odzielnie, lecz na przeciwstawieniu ich sobie, została użyta przez autora tej książki. Końce zwoju o wielkim oporze łączą się z dwiema równoległemi tarczami, z których jedna jest ruchoma. Ta sama różnica potencjału

[1]) Wymiar jednostki oporu w układzie elektromagnetycznym jest $cm.\,sek^{-1}$, a w elektrostatycznym $cm^{-1}\,sek$. Stosunek wynosi $cm^2\,sek^{-2}$, co jest wymiarem kwadratu jednostki prędkości.

która wywołuje prąd poprzez wielki opór, powoduje także przyciąganie się owych tarcz. Jednocześnie prąd elektryczny (w rzeczywistem przeprowadzeniu doświadczenia różny od prądu pierwotnego) płynie przez dwa zwoje, umieszczone na stronach odwrotnych: jeden — tarczy stałej, drugi — tarczy ruchomej. Prąd płynie w tych zwojach w kierunkach odwrotnych, tak że odpychają się one wzajemnie. Regulując odległość tarcz, można przyciąganie zrównoważyć dokładnie odpychaniem; jednocześnie drugi obserwator mierzy stosunek prądu pierwotnego do wtórnego zapomocą galwanometru różnicowego.

W tem doświadczeniu jedynym pomiarem, polegającym na porównaniu z materjalnym wzorcem, jest pomiar dużego oporu, który trzeba wyznaczyć w miarach bezwzględnych, porównywując go z omem. Inne pomiary wymagają tylko znalezienia stosunków, mogą być więc wyrażone w jednostkach dowolnych.

Wartość dla $v$, znaleziona metodą Thomson'a wynosi 28,2 oma; znaleziona metodą Maxwell'a — 28,8 oma[1]).

Dalej autor dowodzi możliwości innych jeszcze metod pomiaru $v$, opartych na mierzeniu pojemności w jednostkach elektromagnetycznych zapomocą prądów przemiennych, na porównaniu pojemności z samoindukcją i na elektrostatycznym pomiarze oporu.

### Teorja elektromagnetyczna światła.

W różnych miejscach tego dzieła podjęto próbę wytłumaczenia zjawisk elektromagnetycznych zapomocą działania mechanicznego, przenoszonego z jednego ciała na drugie za pośrednictwem ośrodka, wypełniającego przestrzeń pomiędzy niemi. Teorja falowa światła również przypuszcza istnienie pewnego ośrodka. Dowiedziemy teraz, że ośrodek elektromagnetyczny ma własności też same, co i ośrodek światłonośny.

Wypełnianie przestrzeni nowym ośrodkiem za każdym razem, kiedy trzeba wytłumaczyć nowe zjawisko, nie byłoby wcale postępowaniem, zgodnem z zasadami filozofji; jeśli jednak badania dwu różnych gałęzi wiedzy nasuwają niezależnie od siebie myśl istnienia ośrodka, i jeśli własności, jakie musimy przypisać temu ośrodkowi, aby wytłumaczyć zjawiska elektromagnetyczne, są tego samego rodzaju, jak te, które musimy przypisać ośrodkowi świetlnemu, aby wytłumaczyć zjawiska

---

[1]) 1 om $= 10^9$ jedn. elektromagn. $= 10^9$ cm/sek; przeliczone na m/sek wartości powyższe dadzą dla $v$ : 282000000 i 288000000 m/sek, albo 282000 i 288000 km/sek.

światła, to dowody fizycznego istnienia takiego ośrodka zyskują poważnie na sile.

Ale własności ciał mogą być mierzone liczbowo. Otrzymujemy więc wartości liczbowe dla pewnych własności ośrodka, np. dla prędkości, z jaką rozchodzą się w nim zakłócenia; prędkość tę możemy obliczyć z doświadczeń elektromagnetycznych, a także mierzyć bezpośrednio w wypadku światła; gdyby się okazało, że prędkość rozchodzenia się zakłóceń elektromagnetycznych jest taka sama, jak prędkość światła i to nie tylko w powietrzu, ale i w innych ośrodkach przezroczystych, mielibyśmy poważne powody do mniemania, że światło jest zjawiskiem elektromagnetycznem, a łączne świadectwa, jakie dają zjawiska optyczne i elektryczne, przekonałyby nas o rzeczywistości ośrodka, podobnie jak o rzeczywistości innych rodzajów materji przekonywują nas łączne świadectwa naszych zmysłów.

Ciało świecące wydatkuje podczas wysyłania światła pewną ilość energji, jeśli zaś światło zostaje pochłonięte przez inne ciało, to ciało ogrzewa się, co wskazuje, że otrzymało zzewnątrz energję. W czasie, jaki upływa pomiędzy chwilą opuszczenia pierwszego ciała a chwilą dosięgnięcia drugiego, światło musiało istnieć jako energja w ośrodku pośredniczącym...

W czasie przechodzenia światła ośrodek światłonośny jest siedliskiem energji. Teorja falowa, jak ją rozwinęli Huygens, Young, Green i in., przypuszcza, że energja ta jest częściowo potencjalną, a częściowo kinetyczną. Źródłem energji potencjalnej są odkształcenia cząstek elementarnych ośrodka; musimy więc uważać ośrodek za sprężysty. Źródłem energji kinetycznej są ruchy drgające ośrodka; musimy mu więc przypisać gęstość skończoną.

Teorja elektryczności i magnetyzmu, przyjęta w tem dziele, uznaje istnienie dwóch postaci energji: elektrostatycznej i elektrokinetycznej [energji pola elektrycznego i pola magnetycznego, wzbudzanego przez prądy], a siedlisko ich widzi się nietylko w ciałach naelektryzowanych lub namagnesowanych, lecz we wszystkich częściach przestrzeni otaczającej, w których daje się zauważyć działanie siły elektrycznej lub magnetycznej. Nasza teorja zgadza się zatem z teorją falową, gdyż obie uznają istnienie ośrodka, który może być siedliskiem dwóch rodzajów energji [1]).

---

[1]) „Rozważając ze swej strony stosunek pomiędzy próżnią i siłą magnetyczną oraz charakter ogólny zjawisk magnetycznych poza obrębem magnesu, skłaniam się do mniemania, że w przenoszeniu siły biorą raczej udział działania, odbywające

Dalej następuje wyprowadzenie słynnych Maxwell'owskich równań pola elektromagnetycznego. Autor opiera się na dwóch zasadniczych prawach elektromagnetyzmu: na prawie indukcji i na prawie wytwarzania pól magnetycznych przez prądy; czyni przytem założenie, że przesunięcia elektryczne w dielektrykach lub w eterze wywierają takie same działanie magnetyczne, jak prądy zwykłe (Rowland, ob. niż.). Równania, do jakich Maxwell dochodzi, mają kształt taki sam, jak równania, wyrażające rozchodzenie się zakłóceń mechanicznych w ośrodku sprężystym. Stąd wniosek, że w ośrodkach dielektrycznych zakłócenia elektryczne rozchodzą się z szybkością skończoną i że mogą się w nich rozchodzić fale elektromagnetyczne, analogiczne do fal mechanicznych w ośrodkach sprężystych; szybkość $V$, z jaką ruch ich się odbywa, jest równa $\frac{v}{\sqrt{\varkappa\mu}}$, gdzie $v$ oznacza stosunek jednostek elektrycznych, $\varkappa$ — stałą dielektryczną, $\mu$ — zdolność magnetyczną ośrodka. W próżni (a w przybliżeniu i w powietrzu) $\varkappa = 1, \mu = 1$, skąd $V = v$.

Jeśli przyjmiemy teorję, że światło jest zakłóceniem elektromagnetycznem, rozchodzącem się w tym samym ośrodku, który przenosi inne działania elektromagnetyczne, to $V$ powinno być prędkością światła; wartość tej wielkości mierzono różnemi metodami. Z drugiej strony $v$ jest liczbą jednostek elektrostatycznych elektryczności, zawartych w jednostce elektromagnetycznej; w rozdziale poprzedzającym opisano metody mierzenia tej wielkości. Te metody są zupełnie niezależne od metod mierzenia prędkości światła. Zatem zgodność lub niezgodność wartości dla $V$ i $v$ będzie sprawdzianem słuszności teorji elektromagnetycznej światła.

W przytoczonej tablicy są zestawione najważniejsze wyniki bezpośrednich obserwacyj prędkości światła w powietrzu lub w przestrzeniach międzyplanetarnych oraz najważniejsze wyniki porównywania jednostek elektrycznych:

| Prędkość światła (metr. na sek.). | | Stosunek jednostek elektrycznych (metr. na sek.). | |
|---|---|---|---|
| Fizeau . . . . | 314000000 | Weber . . . . | 310740000 |
| Aberacja i paralaksa słońca . . . . | 308000000 | Maxwell . . . | 288000000 |
| Foucault . . . | 298360000 | Thomson . . . | 282000000 |

---

się poza obrębem magnesu, niż że zjawisko polega jedynie na przyciąganiu i odpychaniu na odległość. Takie działanie mogłoby być funkcją eteru, gdyż nie jest bynajmniej rzeczą prawdopodobną, aby eter, o ile istnieje, nie posiadał żadnej innej roli, jak tylko przenoszenie promieniowania". Faraday: Badania doświadczalne, 3075.

Jest rzeczą oczywistą, że szybkość światła oraz stosunek jednostek są to wielkości tego samego rzędu; ale o żadnej z nich nie można do dnia dzisiejszego powiedzieć, aby była znaną z taką ścisłością, któraby pozwoliła na stwierdzenie, że jedna z nich jest większa lub mniejsza od drugiej. Można się spodziewać, że dalsze doświadczenia wyznaczą z większą dokładnością wzajemny stosunek tych dwu wielkości.

Tymczasem zaś porównanie posiadanych przez nas wyników bez wątpienia nie przeczy naszej teorji, która twierdzi, że dwie te wielkości są sobie równe, oraz wskazuje na fizyczne podstawy tej równości.

788) W ośrodkach innych, niż powietrze, szybkość $V$ jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z iloczynu ze zdolności indukcyjnej dielektrycznej przez zdolność indukcyjną magnetyczną. Zgodnie z teorją falową szybkość światła w różnych ośrodkach jest odwrotnie proporcjonalna do spółczynnika załamania w tych ośrodkach.

Niema ośrodków przezroczystych, których zdolność magnetyczna różniłaby się od zdolności magnetycznej powietrza więcej, niż o bardzo drobny ułamek. Zatem główna część różnicy, jaka zachodzi pomiędzy temi ośrodkami, powinna zależeć od ich zdolności elektrycznych. A więc, według naszej teorji, zdolność dielektryczna ośrodka przezroczystego powinna się równać pierwiastkowi kwadratowemu ze współczynnika załamania w tym ośrodku[1]).

Ale spółczynnik załamania ma wartości różne dla różnych rodzajów światła; jest mianowicie większy dla światła o szybszych drganiach. Powinniśmy więc wybrać współczynnik załamania, odpowiadający falom o okresie najdłuższym, gdyż tylko ruch tych fal można porównywać z procesami powolnymi, które nam służą do wyznaczania stałej dielektrycznej.

789) Jedynym dielektrykiem, którego stała dielektryczna została dotychczas zmierzona z dostateczną dokładnością, jest parafina; pp. Gibson i Barclay znaleźli dla niej w stanie stałym:

---

[1]) Jeśli dla danego ośrodka $\mu = 1$, to szybkość światła w tym ośrodku jest

$$V = \frac{v}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad \text{lub} \quad \frac{v}{V} = \sqrt{\varepsilon}$$

Ale $v$ jest szybkością światła w próżni, więc $\frac{v}{V}$ jest współczynnikiem załamania $n$ danego ośrodka. Mamy więc

$$n = \sqrt{\varepsilon} \quad \text{lub} \quad n^2 = \varepsilon$$

$$\varepsilon = 1{,}975.$$

D-r Gladstone znalazł dla parafiny roztopionej o gęstości 0,779 następujące spółczynniki załamania dla linji *A*, *D* i *H*:

| Temperatura | A | D | H |
|---|---|---|---|
| 54° C | 1,4306 | 1,4357 | 1,4499 |
| 57° C | 1,4293 | 1,4343 | 1,4493 |

Skąd obliczam, że dla fal nieskończenie długich współczynnik załamania byłby około . . . . . . . . 1,422.
Pierwiastek kwadratowy z ε jest . . 1,405.

Różnica pomiędzy temi liczbami jest większa, niżby to można przypisać błędom obserwacji, i wskazuje, że musimy jeszcze znacznie udoskonalić nasze teorje budowy ciał, zanim będziemy mogli wyprowadzić własności optyczne ciał z ich własności elektrycznych. Uważam zarazem zgodność tych liczb za taką, że, gdyby liczby, wyprowadzone z własności optycznych i elektrycznych znacznej ilości substancyj, nie przedstawiały większej sprzeczności, to uprawniony byłby wniosek, że pierwiastek kwadratowy z ε, choć może nie wystarcza do całkowitego wyrażenia spółczynnika załamania, stanowi jednak conajmniej część jego najważniejszą...

---

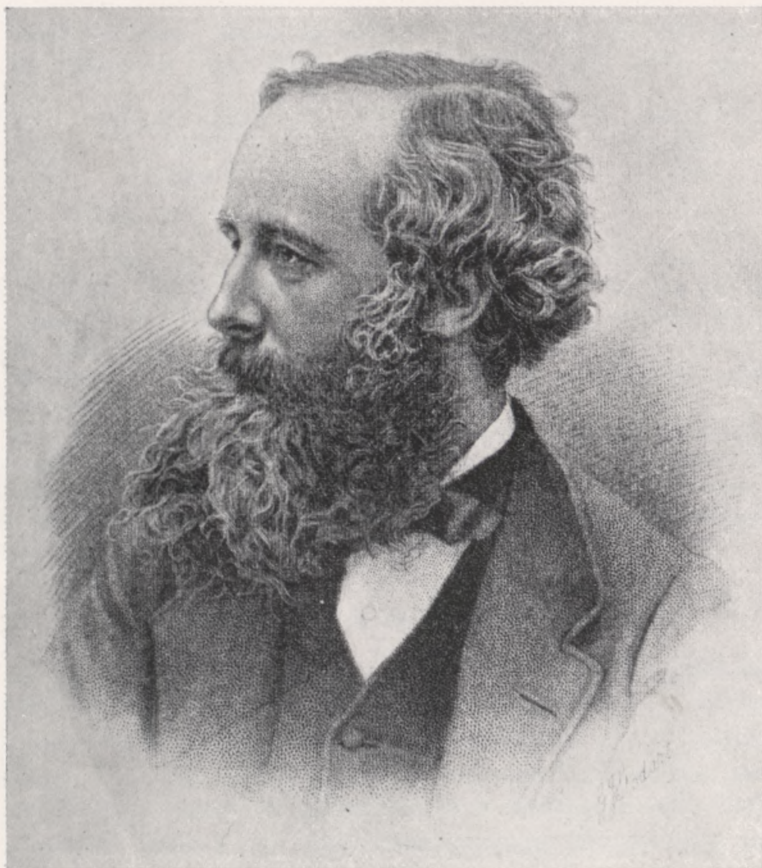
Przewidywania Maxwell'a sprawdziły się w zupełności; w miarę doskonalenia się metod, wyniki pomiarów prędkości światła i stosunku jednostek elektrycznych stają się coraz bliższe siebie. Oto niektóre nowsze dane, wyrażone w *km/sek.*

| *Prędkość światła* | | *Stosunek jedn. elektr.* | |
|---|---|---|---|
| 1874. Cornu . . . . . . . . | 300400 | 1884. Himstedt . . . . . | 300570 |
| 1879. Michelson . . . . . | 299828 | 1889. Rosa . . . . . . . . | 300000 |
| 1882. Newcomb . . . . . | 299860 | 1890. J. J. Thomson i Searle . | 299600 |
| 1882. Michelson . . . . . | 299853 | 1892. H. Abraham . . . . | 299130 |
| 1902. Perrotin . . . . . . | 299820 | 1898. Perot i Fabry . . . | 299730 |
| 1927. Michelson . . . . . | 299796 | 1907. Rosa i Dorsey . . . . | 299790 |

Wyniki, które otrzymali Michelson w 1927 oraz Rosa i Dorsey, są prawie identyczne.

W r. 1893 Blondlot podał metodę bezpośredniego mierzenia prędkości fal elektromagnetycznych, rozchodzących się wzdłuż drutów metalowych. Posiłkując się tą metodą, Saunders znalazł na prędkość fali elektromagnetycznej 299790 km/sek.

Przewidziana przez Maxwell'a zależność pomiędzy spółczynnikiem załamania a stałą dielektryczną spełnia się naogół dobrze dla gazów. Wiedeń-



JAMES CLERK MAXWELL

ski fizyk Ludwik Boltzmann (1844—1906) zmierzył w tym celu stałą dielektryczną szeregu gazów, i otrzymał następujące wyniki:

| | Powietrze | Wodór | Etylen | Dwutlenek węgla |
|---|---|---|---|---|
| $\varepsilon$ | 1,000590 | 1,000264 | 1,001312 | 1,000946 |
| $n^2$ | 1,000586 | 1,000276 | 1,001356 | 1,000898 |

Różnice są nieco większe dla gazów o złożonej budowie cząsteczki.
Dla niektórych cieczy mamy również zgodność wcale dobrą, np.:

| | Siarczek węgla | Ropa naftowa | Benzol |
|---|---|---|---|
| $\varepsilon$ | 2,609 | 2,08 | 2,2025 |
| $n^2$ | 2,628 | 2,115 | 2,2464 |

($n$ brane dla linji $C$).

Ciekły wodór ma stałą dielektryczną $\varepsilon=1,2311$ (W. Werner), a kwadrat sp. załamania dla fal nieskończenie długich $n^2=1,2301$ (H. Augustin).

Natomiast w szeregu innych ciał spotyka się różnice ogromne; np. dla wody (i lodu) $\varepsilon=80$, $n^2=1,8$; dla szkła $\varepsilon=5,44$, $n^2=2,3$.

Współczesne teorje stałej dielektrycznej (Debye) tłumaczą zupełnie zadawalająco te różnice (ob. str. 148).

Inną konsekwencją teorji elektromagnetycznej światła jest zależność zdolności odbijania światła od przewodnictwa. Niemiecki fizyk Rubens sprawdzał te zależności dla długich fal podczerwonych (dług. fali rzędu 0,3 mm) i stwierdził zupełną zgodność teorji z doświadczeniem, dostarczając tem nowego i ważkego argumentu na korzyść teorji Maxwell'a.

## Dalszy rozwój teoryj polaryzacji.

Faraday, tworząc pojęcie polaryzacji dielektryku, miał na myśli to tylko, że cząsteczki ośrodka izolującego znajdują się w szczególnym, kierunkowym stanie napięcia, udzielającym się od cząsteczki do cząsteczki, lecz nie podsuwał pod to żadnego konkretnego mechanizmu. Maxwell mówi o „przesunięciach elektrycznych"; zatem coś się przesuwa wzdłuż linij pola elektrycznego. Przesunięcie ma uzupełniać każdy prąd elektryczny przewodzony do prądu zamkniętego, więc Maxwell poprostu identyfikuje to „coś" z elektrycznością. W ten sposób powstaje dwuznaczność wyrazu „elektryczność", jak to podkreślił znakomity francuski matematyk, astronom i filozof Henryk Poincaré (1854—1912).

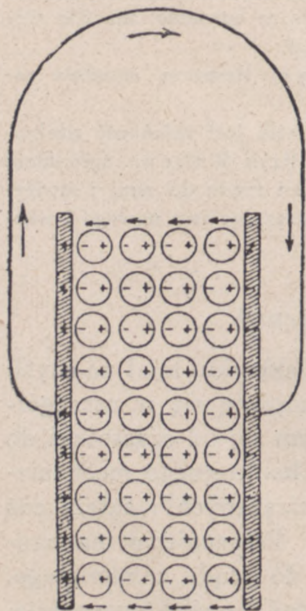
„Maxwell przypuszcza, że materja dielektryków jest całkowicie zajęta przez płyn hipotetyczny, analogiczny do eteru, o którym w optyce przypuszczamy, że wypełnia ciała przezroczyste; nazywa on go *elektrycznością*... Ponieważ ta nazwa może wprowadzić do umysłu pożałowania godne zamieszanie, nazwiemy ten płyn hipotetyczny

*płynem indukującym*, zachowując dla nazwy elektryczności jej zwykłe znaczenie.

Gdy wszystkie przewodniki, umieszczone w dielektryku są w stanie obojętnym, płyn indukujący jest w *równowadze normalnej*. Jeśli, przeciwnie, przewodniki są naelektryzowane... płyn indukujący przyjmuje nowy stan równowagi, który Maxwell nazywa *równowagą wymuszoną*.

Gdy cząsteczka płynu indukującego zostaje przesunięta ze swego położenia równowagi normalnej, Maxwell powiada, że zachodzi *przesunięcie elektryczne*" [1])...

„Elektryczność" oznacza więc u Maxwell'a zarówno nabój elektryczny, jak i to, co Poincaré nazywa „płynem indukującym" Oba te płyny razem zachowują się, jak płyn nieściśliwy, t. j. suma ich wewnątrz powierzchni zamkniętej nie ulega zmianie; w tym sensie należy też rozumieć twierdzenie Maxwell'a o podobieństwie „elektryczności" do płynu nieściśliwego (str. 137).


Rys. 28.
Model dielektryku według Mossotti'ego.

Inne znaczenie przesunięciu elektrycznemu nadał współczesny Maxwell'owi włoski fizyk Mossotti. Teorja jego przypomina teorję magnesów elementarnych Coulomb'a (ob. str. 31). Mossotti przypuszcza, że materja dielektryku składa się z kul przewodzących, rozsianych w ośrodku zupełnie nieprzewodzącym; pod wpływem pola elektrycznego naboje w kulach rozdzielają się, jak wskazuje rysunek, lecz elektryczność nie może przechodzić z jednej kuli do drugiej; po usunięciu pola naboje wracają do pierwotnych położeń i zobojętniają się wzajemnie. Od gęstości rozmieszczenia kul przewodzących zależy stała dielektryczna ciała. I tu więc istnieje przesunięcie elektryczne, ale nie w całym ośrodku, lecz tylko w rozsianych w nim cząsteczkach przewodzących. Mossotti zakładał, że występuje ono pod wpływem zwykłego przyciągania i odpychania nabojów, bez pośrednictwa materji izolującej;

[1]) H. Poincaré. „Electricité et Optique", Paris 1901, rozdz. II.

jednak teorja jego daje się pogodzić z teorją działania bezpośredniego, jeśli przypuścić, że działanie pomiędzy cząsteczkami przewodzącemi odbywa się przy udziale izolatora. Gdy mamy do czynienia np. z siarką lub innym pierwiastkiem dielektycznym, to rolę „kul" Mossotti'ego musimy przypisać atomom siarki, a rolę ośrodka izolującego — próżni, eterowi.

Na takiem stanowisku stanął znakomity holenderski teoretyk, twórca teorji elektronów, H. A. Lorentz (ob. dział: Jony i Elektrony); przypuszcza on, że atomy dielektryku zawierają elektrony, związane z nimi siłami wewnętrznemi; w polu elektrycznem elektrony wychylają się z położenia równowagi i grają taką samą rolę, jak naboje elektryczne w kulkach przewodzących Mossotti'ego. Przesunięcie elektronów odbywa się nie dzięki działaniom na odległość, lecz pod wpływem spolaryzowania eteru, który otacza i przenika cząsteczki materji. Obok przesunięcia elektronów przyjmuje więc Lorentz polaryzację eteru.

Teorja Lorentz'a zdaje sprawę ze zjawisk, zachodzących w dielektrykach w spoczynku, równie dobrze, jak teorja Maxwell'a; różnica występuje dopiero w wypadku dielektryku poruszanego. Teorję Maxwell'a zastosował do ciał poruszających się Henryk Hertz, zakładając, że przesunięcie elektryczne jest związane nierozdzielnie z materją dielektryku; dielektryk spolaryzowany w ruchu porywałby więc z sobą całkowite przesunięcie.

Maxwell przypuszcza, że ruch taki byłby równoznaczny z prądem elektrycznym, wywołanym przez unoszenie elektryczności, jaka występuje na powierzchni dielektryku; prąd taki wywołałby pole magnetyczne, proporcjonalne do wielkości przesunięcia, czyli do $\varepsilon E$ (gdzie $E$ oznacza natężenie pola elektrycznego, a $\varepsilon$ stałą dielektryczną).

Według Lorentz'a całkowite przesunięcie elektryczne $\varepsilon E$ składa się z dwóch części: z przesunięcia elektronów, które bierze udział w ruchu materji, oraz z przesunięcia w eterze, które udziału w ruchu nie bierze; ponieważ to drugie przesunięcie jest równe liczbowo natężeniu $E$, przeto pole magnetyczne, wywołane ruchem dielektryku spolaryzowanego powinno być proporcjonalne do $\varepsilon E - E = (\varepsilon - 1) E$. (Ob. Witkowski, t. III, ust. 71).

Badania działań magnetycznych poruszających się dielektryków (ob. niż. Prądy konwencyjne) przyznały słuszność poglądom Lorentz'a.

Założenia Lorentz'a są w zgodzie ze sposobem, w jaki Fresnel tłumaczy zjawiska optyczne w ciałach poruszających się, w szczególności z doświadczeniami Fizeau nad wpływem ruchu ośrodka optycznego na rozchodzenie się światła. Stosunek przesunięcia w materji do przesunięcia całkowitego wynosi $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = 1 - \frac{1}{\varepsilon} = 1 - \frac{1}{n^2}$, i równa się Fresnel'owskiemu „spółczynnikowi unoszenia". (Por. rozprawę Fizeau w dziale Optyki).

Clausius (ob. dział Ciepła), opracowawszy matematycznie teorję Mossotti'ego (1879), wyprowadził z niej zależność zmian stałej dielektrycznej ośrodka izolującego od zmian jego gęstości. Wiele ciał stosuje się dobrze do tego prawa, ale również wiele, szczególnie cieczy o złożonej budowie cząsteczki, znacznie od niego odbiega; te same ciała odbiegają również od prawa Maxwell'a zależności spółczynnika załamania od stałej dielektrycznej. Obie te anomalje wyjaśnił holenderski uczony P. Debye, profesor fizyki teoretycznej w Zurychu, zakładając (1912), że drobiny tych ciał są stale spolaryzowane, t. j. że posiadają po 2 bieguny elektryczne, dodatni i ujemny; osie tych „dipoli" są w zwykłych warunkach rozmieszczone chaotycznie, dopiero działanie pola elektrycznego skierowuje je zgodnie z linjami pola, podobnie jak to czyni pole magnetyczne z magnesami elementarnymi.

**Prądy konwekcyjne.**

Maxwell, próbując nadać znaczenie fizyczne prędkości, jaką otrzymuje się ze stosunku jednostek elektrostatycznych i elektromagnetycznych naboju, zakłada, że naboje zebrane na przewodniku i wraz z nim wprawione w szybki ruch, powinny wytwarzać takie same pole magnetyczne, jak naboje, których ruch poprzez przewody tworzy prądy galwaniczne. Podaje nawet metodę, jaką możnaby wytworzyć i zbadać takie prądy konwekcyjne (ob. str. 138). Takie same przypuszczenie wypowiedział już Faraday (Badania, Nr. 1644):

„Jeśli kulę naelektryzować dodatnio w środku pokoju, a następnie poruszać ją w kierunku dowolnym, to powstaną działania takie same, jakieby wywoływał prąd, płynący w tym samym kierunku".

To wynikało z jego głębokiego przeświadczenia o „jedności sił elektrycznych:

„Trzy zupełnie różne rodzaje rozbrojeń: przewodnictwo, elektroliza i rozbrojenie przez iskrę, zgadzają się z sobą w tym punkcie, że

wywołują ważne zjawisko magnetyzmu poprzecznego. Czy i konwekcja, czyli rozbrojenie konwekcyjne sprawia to samo zjawisko, tego jeszcze nie sprawdzono, a kilka doświadczeń, które dotąd zdążyłem wykonać, nie pozwala mi na udzielenie na to pytanie odpowiedzi twierdzącej". (Bad. Nr. 1657).

Podajemy tu krótki rys historyczny prób doświadczalnego rozstrzygnięcia tego zagadnienia według artykułu prof. Eichenwalda [1]). Widać z niego, z jak wielkiemi trudnościami połączone były te pomiary tak subtelne, a tak ważne.

„Takie doświadczenie, jak wiadomo, po raz pierwszy przedsięwziął i pomyślnie przeprowadził w r. 1876 H. A. Rowland w pracowni H. von Helmholtz'a.

W dalszym ciągu kwestja ta doznała osobliwego losu. Tak np. W. C. Röntgen (1890) mógł potwierdzić doświadczenia Rowland'a, zaś E. Lecher (1889) uczynić tego nie zdołał; Himstedt (1889 i 1890) oraz Rowland i Hutchinson (1889) udoskonalili metodę doświadczeń i otrzymali zgodne wyniki dodatnie; natomiast V. Crémieu (1900—1902) napróżno starał się wykazać działanie magnetyczne konwekcji elektrycznej różnemi sposobami — wprost lub pośrednio. Wreszcie wyniki doświadczeń całego szeregu obserwatorów, jak H. Pender'a (1903), E. P. Adams'a (1901), H. Pender'a i V. Crémieu (1903), N. V. Karpen'a (1904), F. Himstedt'a (1904) oraz moje własne badania (1901—1908) usunęły wszelkie wątpliwości co do istnienia zjawiska Rowland'a.

Należy tu jednak zauważyć, że pierwsze badania na tem polu, nawet uwieńczone wynikami dodatnimi, nie rozwiązały wielu kwestyj, dotyczących konwekcji elektrycznej, nadto uwidoczniły one niektóre zjawiska uboczne, których teorja wyjaśnić nie umiała.

Tak np. Himstedt'owi udało się do tego stopnia wzmocnić działanie magnetyczne dwóch wirujących płyt naelektryzowanych, że mógł obserwować odchylenia igły magnetycznej o 100 mm. przy 3 m. odległości skali. Dokonywał on wówczas tylko pomiarów względnych i stwierdził proporcjonalność natężenia pola magnetycznego do siły prądu konwekcyjnego. Ale ta proporcjonalność sięgała tylko do potencjału 4000 woltów; przy potencjałach wyższych działania magnetyczne były słabsze, niżby to wynikało z prawa proporcjonalności...

H. Rowland i C. Hutchinson postawili sobie za zadanie wykonanie możliwie dokładnych pomiarów bezwzględnych... Nie

---

[1]) Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik. T. V, 1908.

zauważyli oni zjawiska, spostrzeżonego przez *Himstedt*'a, nawet przy wyższych jeszcze potencjałach, sięgających 8000 wolt; zato wyszła na jaw inna okoliczność szczególna: oto, rzecz dziwna, wychylenia igły magnetycznej nie były jednakowe przy zmianie kierunku ruchu, jeśli pozostałe warunki nie uległy zmianie, a ta nierówność nie mogła być przypisana błędowi spostrzeżeń...

Tymczasem szereg innych autorów wziął się do tej sprawy. Tak np. *Crémieu* ogłosił znaczną ilość prac, które jednak zupełnie przeczyły doświadczeniom *Rowland*'a. Aby się uwolnić od zakłócającego wpływu wirujących płyt naelektryzowanych na magnetometr, *Crémieu* poszedł inną drogą: nie obserwował wprost pola magnetycznego, lecz prądy indukcyjne, powstające przy zmianie pola magnetycznego, wytworzonego przez nabój, poruszany z szybkością jednostajną, lecz ulegający zmianom w czasie. Prądy indukcyjne były skierowywane w jednę stronę zapomcoą komutatora i mierzone zapomocą czułego galwanometru...

Tymczasem *Pender*, który pracował u samego *Rowland*'a i używał tej samej metody, co *Crémieu*, otrzymał wyniki dodatnie i nawet bardzo dokładne.

Na propozycję H. *Poincaré*'go obaj ci badacze, *Pender* i *Crémieu*, spotkali się w Paryżu i wspólnie podjęli badania. Po kilku próbach udało się im otrzymać razem zjawisko *Rowland*'a...

Jest rzeczą bardzo prawdopodobną, że wszystkie wpływy zakłócające, zauważone przez *Himstedta*, *Rowlanda* i *Hutchinson*'a, a również przez *Pender*'a i *Crémieu*, są spowodowane przez błędy izolacji, wyładowania z ostrzy i t. p...

Dotąd rozumieliśmy zawsze przez nabój poruszany nabój elektryczny *przewodnika*, czyli „nabój prawdziwy". Jak się jednak zachowują naboje pozorne [1]), indukowane w polu elektrycznem na powierzchni *nienaelektryzowanego* dielektryku, — czy i one wywołują podczas ruchu pole magnetyczne?

Doświadczenia *Röntgen*'a (1888) odpowiedziały na to pytanie twierdząco, aczkolwiek tylko jakościowo... Pomiary bezwzględne są

---

[1]) [Wyobraźmy sobie płytę z dielektryku, umieszczoną w polu elektrycznem, prostopadłem względem powierzchni płyty. Załóżmy, że potencjał wyższy pola odpowiada powierzchni górnej, a niższy dolnej. W myśl teoryj *Mosotti*'ego i *Lorentza*, w płycie nastąpi polaryzacja, czyli przesunięcie nabojów w drobinach dielektryku; naboje dodatnie zostaną przesunięte wdół, ujemne —· wgórę. Nabój każdej z drobin wewnętrznych znajduje się obok naboju znaku przeciwnego drobiny sąsiedniej; działania tych nabojów znoszą się wzajemnie. Ale

tu szczególnie interesujące, gdyż teorje elektromagnetyczne dla ciał w ruchu, a mianowicie teorja Maxwell'a i Hertz'a z jednej, a teorja elektronowa H. Lorentz'a z drugiej strony, właśnie w zastosowaniu do dielektryków prowadzą do wyników niezgodnych.

W pierwszej z wymienionych teoryj przypuszcza się mianowicie, że przy ruchu ciał cały wypełniający przestrzeń ośrodek bierze udział w ruchu, że „hipotetycznie we wnętrzu materji istniejący eter porusza się tylko łącznie z nią". Znane doświadczenie Fizeau z płynącą wodą i spółczynnik unoszenia Fresnel'a nie mieszczą się w ramach tej teorji...

Teorja elektronowa prowadzi wprost do Fresnel'owskiego współczynnika unoszenia i objaśnia doświadczenie Fizeau. Jednocześnie teorja ta wymaga, aby ruchowi dielektryku w polu elektrostatycznem towarzyszyło pole magnetyczne, proporcjonalne do $(\varepsilon - 1)\ E$, a nie do $\varepsilon E$, jakby to wynikało z Hertz'owskiej teorji eteru, poruszającego się razem z materją...

W ostatnich czasach Pender (1903) użył metody indukcyjnej Crémieu, aby zbadać nią pole dielektryków w ruchu, a więc pole nabojów pozornych, i otrzymał przy różnicy potencjałów 7470 woltów i 57,8 obrotach płyty na sekundę podwójne wychylenie galwanometru o 4,5 mm. Obliczenia, przeprowadzone na podstawie teorji elektronowej, dały odchylenie o 4,85 mm. Zgodność teorji z doświadczeniem musi być uważana za bardzo dobrą".

Podajemy poniżej wyjątki z prac Rowland'a i Hutchinson'a oraz Röntgen'a.

---

naboje drobin, leżących na powierzchniach, ograniczających dielektryk, już nie będą przez nic zobojętniane. Na powierzchniach tych wystąpią naboje „pozorne" — na powierzchni dolnej dodatnie, na górnej ujemne. Naboje te są związane z materją dielektryku, nie dają się z niego zebrać, więc są nazwane pozornemi, w przeciwieństwie do nabojów „prawdziwych", swobodnie przechodzących z jednego ciała na drugie. Takie naboje pozorne, wprawione w ruch, powinny również wywołać działania magnetyczne. (Ob. rozprawę Röntgena)].

## HENRYK AUGUST ROWLAND.

*(1848 — 1906).*

Rowland był profesorem w uniwersytecie Johna Hopkins'a w Baltymorze (Stany Zjednoczone). Poza odkryciem prądów konwekcyjnych wsławił się ulepszeniem siatek dyfrakcyjnych; nacinał je nie na powierzchniach płaskich, lecz na wewnętrznych powierzchniach cylindrycznych metalowych, równolegle do osi cylindra. Siatki takie pozwalają otrzymać rzeczywisty obraz widma bez uciekania się do soczewek, niezbędnych przy siatkach płaskich. Siatki wykonane przez Rowland'a odznaczają się wielką gęstością i równością nacięć (do 17000 na 1 mm.); zapomocą nich Rowland dokonał wspaniałych pomiarów długości fali w obrębie widma słonecznego; jego atlas daje widmo słoneczne, rozciągnięte na długości 10 m.

---

## O działaniu elektromagnetycznem prądów konwekcyjnych

PRZEZ PROF. HENRYKA A. ROWLANDA i C. T. HUTCHINSON'A[1]).

...Myśl o możliwości działania magnetycznego prądów konwekcyjnych nasunęła się prof. Rowland'owi w r. 1868 i została zaprotokułowana w notatniku jego pod tąż datą.

Do pierwszego ze swych doświadczeń, wykonanego w Berlinie w r. 1876, prof. Rowland używał tarczy kauczukowej poziomej, pokrytej złotem po obu stronach i poruszającej się pomiędzy dwiema kondensującemi płytami szklanemi (wyzłoconemi). Każda zbroja tarczy tworzyła kondensator z bliższą jej powierzchnią szkła; obie powierzchnie tarczy były nabite do tego samego potencjału. Igła [magnesowa] była umieszczona prostopadle do promienia tarczy ponad górną płytą kondensującą i prawie ponad brzegiem tarczy. Średnica tarczy kauczukowej wynosiła 21 cm., a szybkość 61 [obrotów] na sekundę...

Dokonano pomiarów, i wartość odchyleń obserwowanych zgadzała się zupełnie z wartością obliczoną; ale nie zdołano dokonać pomiarów z dokładnością pożądaną, a to doprowadziło do doświadczeń niniejszych...

W przyrządzie berlińskim, powyżej opisanym, igła znajduje się w pobliżu brzegu tarczy; działanie magnetyczne, jak można przypuścić, jest proporcjonalne do gęstości powierzchniowej, pomnożo-

---

[1]) „On the elektromagnetic Effect of Convection-Currents". Phil. Mag. V. 27, 1889.

nej przez szybkość linjową; siła będzie więc znacznie większa przy brzegu, niż blisko środka; za to pole jest mniej prawidłowe, co utrudnia ścisłe pomiary.

W przyrządzie obecnym jednostajność pola została zapewniona dzięki użyciu dwóch tarcz pionowych, wirujących około dwóch osi poziomych, leżących w jednej linji. Układ [astatyczny, ob. str. 77] igieł umieszczono pomiędzy tarczami, nawprost ich środka. Tarcze są ustawione w płaszczyźnie południka [magnetycznego], są one pozłocone na powierzchniach, zwróconych ku igle. Pomiędzy tarczami umieszczono dwie płyty szklane kondensujące, pozłocone od strony tarcz; pomiędzy temi płytami znajduje się igła. Cały przyrząd jest symetryczny względem dolnej igły układu astatycznego.

Każda tarcza jest otoczona pierścieniem ochronnym z kauczuku pozłoconego, w celu utrzymania na krawędziach gęstości jednostajnej... Tarcze, płyty szklane i pierścienie ochronne posiadają nacięcia w kierunku promieni, aby prądy zwykłe nie mogły krążyć wkoło zbroi.

Na obwodzie każdej tarczy znajduje się osiem prętów mosiężnych, które są wpuszczone w nią w kierunku promieni na głębokość mniej więcej 5 cm., następnie zaginają się pod kątem prostym i biegną równolegle do osi, sięgając do powierzchni tarczy, gdzie stykają się z warstewką złota. Szczotki metalowe, przytwierdzone do pierścieni ochronnych, spoczywają na tych prętach; tą drogą tarcze są nabijane...

Układ igieł jest zamknięty w rurze mosiężnej, zakończonej u góry obszerniejszą skrzynką mosiężną, zawierającą zwierciadełko i igłę górną...

Na obwodzie dwóch pierścieni kauczukowych nacięto wyżłobienia, na które nawinięto druty; służą one jako galwanometr do wyznaczenia stałej charakterystycznej dla igły... Będziemy nazywali to urządzenie galwanometrem tarczowym.

Do elektryzowania służyła machina H o l t z'a, połączona z baterją sześciu garncowych butelek lejdejskich. Były one włączone w obwód razem z komutatorem, elektrometrem kontrolującym i tarczą.

Potencjał był mierzony zapomocą dużego elektrometru bezwzględnego.

Obserwacyj dokonywano według następującego przepisu: najpierw określono $H$ [składową poziomą pola ziemskiego] i stałą igły ($\beta$). Następnie łączono elektrometr z określonem miejscem baterji i odczytywano różnice potencjału. Tarczę wprowadzano w ruch, elektryzowano i odczytywano 3 następujące po sobie wychylenia igły; zmieniano znak elektryzacji i znów odczytywano 3 wychylenia i t. d....

Warunkami podlegającemi zmianie były: odległość tarczy od igły; odległość płyt szklanych od igły; stopień naelektryzowania; kierunek obrotu.

Rachunek opierał się na przypuszczeniu, że działanie magnetyczne naboju wirującego jest proporcjonalne do ilości elektryczności, przechodzącej przez każdy punkt w ciągu sekundy, zupełnie tak, jak w prądzie przewodzonym...

Pierwszej obserwacji systematycznej dokonano w styczniu 1889 r. z tarczą naelektryzowaną i doziemionemi płytami. Odchylenie przy zmianie znaku otrzymano bez trudu; wystąpiło ono w kierunku oczekiwanym, to znaczy, że przy naboju dodatnim działanie było zgodne z działaniem prądu w kierunku ruchu tarczy.

Wystąpiły pewne nieprawidłowości, które usunięto przez to, że tarczę doziemiono, a elektryzowano płyty szklane.

Teraz okazało się, że wychylenia są większe przy obrocie dodatnim (zenit, północ, nadir, południe), niż przy obrocie ujemnym [1])...

Tablica I podaje wyniki pewnej liczby obserwacyj. Wszystkie otrzymano z naelektryzowanemi płytami i tarczami doziemionemi za pośrednictwem osi.

Znaczenie liter jest następujące:

$X$ = odległości środka tarczy od niższej igły.
$e$ = odległości tarczy od płyty szklanej.
$N$ = liczbie obrotów na sekundę.
$\delta$ = gęstości powierzchniowej naelektryzowania, wyrażonej w jednostkach elektrostatycznych.
$^1/\beta$ = jest wprost proporcjonalne do czułości igły.
$\Delta$ = kątowi odchylenia.
$V$ = stosunkowi jednostek elektrycznych.

Nagłe zmiany $^1/\beta$ pochodzą od umyślnie w tym celu poczynionych zmian w igle.

Ostatnia kolumna podaje wartości $V$. Praca nasza nie miała na celu wyznaczenia $V$, a rachunek wykonano jedynie dlatego, aby ocenić stopień dokładności, z jaką zjawisko odpowiada przewidywanemu prawu...

---

[1]) [Inni badacze nie znaleźli tej różnicy. Eichenwald przypisuje ją jakiejś niedokładności przyrządu].

TABLICA I.

| Nr. | Obrót | $X$ | $e$ | $N$ | $\delta$ | $1/\beta$ | $2\Delta$ mm. | $V$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | + | 2,54 | 1,24 | 122 | 1,16 | $1{,}50.10^5$ | 5,3 | $2{,}42.10^{10}$ |
| 2 | + | 2,57 | " | 125 | 1,30 | 3,11 | 9,0 | 3,38 " |
| 3 | + | " | " | 129 | 1,23 | 2,15 | 6,94 | 3,00 " |
| 4 | — | " | " | 129 | 1,11 | " | 5,58 | 3,68 " |
| 5 | + | " | 1,21 | 127 | 1,21 | 2,25 | 5,6 | 3,74 " |
| 6 | — | " | " | 133 | 1,21 | " | 5,7 | 3,74 " |
| 7 | + | " | " | 130 | 1,48 | " | 8,4 | 3,10 " |
| 8 | — | " | " | 133 | 1,47 | " | 7,3 | 3'64 " |
| 9 | + | " | 1,24 | 121 | 1,32 | 2,23 | 9,4 | 2,26 " |
| 10 | — | " | " | 130 | 1,32 | " | 7,2 | 3,16 " |
| 11 | + | " | " | 125 | 1,26 | 2,17 | 7,6 | 2,70 " |
| 12 | — | " | " | 126 | 1,26 | " | 5,7 | 3,64 " |
| 13 | + | 2,85 | 1,50 | 125 | 1,19 | 2,23 | 6,5 | 2,82 " |
| 14 | — | " | " | 129 | 1,19 | " | 5,0 | 3,78 " |
| 15 | — | " | " | 125 | 1,11 | 2,19 | 5,85 | 2,82 " |
| 16 | + | " | 1,43 | 127 | 1,08 | 2,35 | 7,3 | 2,46 " |
| 17 | — | " | " | 128 | 1,08 | " | 5,4 | 3,32 " |
| 18 | — | " | " | 129 | 1,08 | " | 5,3 | 3,42 " |
| 19 | + | 3,22 | 1,80 | 123 | 1,13 | 2,24 | 5,1 | 3,30 " |
| 20 | — | " | " | 124 | 1,13 | " | 4,9 | 3,48 " |
| | | | | | | | | $3{,}19.10^{10}$ |

Wartości dla $V$ nie są z sobą zgodne w tym stopniu, w jakim można było tego oczekiwać; jeśli jednak, oprócz licznych, wymienionych już trudności, uwzględnić małą wielkość odchyleń oraz możliwość, że na igłę działały prądy lub magnesy w innych częściach pracowni tak oddalonych, że ustrzec się od nich było niepodobna, a które mogły ulegać zmianom w czasie pomiędzy dokonywaniem obserwacyj a wyznaczaniem czułości igły; jeśli wreszcie uwzględnić, że jakaś przyczyna zakłócająca działała tu niewątpliwie, — to zgodność możemy uważać za tak wielką, jak się tego można było słusznie spodziewać.

---

WILHELM KONRAD ROENTGEN[1]).

## O sile elektrodynamicznej wywołanej przez ruch dielektryku, umieszczonego w polu elektrycznem jednostajnem[2]).

Komunikat niniejszy zawiera znalezioną na drodze doświadczalnej odpowiedź na pytanie następujące: Czy ruch dielektryku, umieszczonego w polu stałem i jednostajnem, nie unoszącego żadnego naboju prawdziwego, może wytworzyć siłę elektrodynamiczną?[3])...

Najpierw pragnąłbym wykazać, że uzyskanie na tej drodze działania elektrodynamicznego jest możliwe. Wyobraźmy sobie dwie płyty kondensatora równoległe, (poziome), płaskie, nieskończenie wielkie, którym udzielono pewnej różnicy potencjału; niechaj warstwa izolująca, oddzielająca płyty, porusza się prostopadle do linij sił, w kierunku prostym, z szybkością stałą. Przypuśćmy następnie, że ośrodek, w którym zachodzi polaryzacja dielektryczna, bierze udział w ruchu tej warstwy [ob. str. 150]; wówczas warstwa owa musi się nazewnątrz zachować elektrodynamicznie tak, jak dwie nieruchome powierzchnie prądów elektrycznych, które możemy w myśli umieścić na górnej, względnie dolnej powierzchni warstwy granicznej, a przez które przepływają prądy stałe o jednakowem natężeniu: przez jednę w kierunku ruchu, przez drugą w kierunku przeciwnym.

Jeśli np. płyta górna jest nabita do potencjału wyższego, niż dolna, to prąd równoważny na dolnej powierzchni granicznej musi być uważany za płynący w kierunku ruchu.

Najprościej można dowieść słuszności tych rozważań, jeśli uważać dielektryk za złożony z cząsteczek spolaryzowanych; wówczas przyczyny siły elektrodynamicznej należy poszukiwać w ruchu biegunów elektrycznych. Ale Maxwell'owska teorja przesunięć elektrycznych prowadzi do tego samego wniosku [jednak do innego wyniku ilościowego].

Pozwolę sobie przytoczyć dwa doświadczenia, wykonane w celu zbadania tej sprawy:

Okrągłą tarczę szklaną (lub kauczukową) wprawiałem w obrót pomiędzy dwiema poziomemi płytami kondensatora; górna płyta była stale doziemiona, a dolną można było nabijać elektrycznością do-

---

[1]) Życiorys Röntgen'a ob. w dziale: Jony i elektrony.

[2]) „Ueber die durch Bewegung eines im homogenen electrischen Felde befindlichen Dielectricums hervorgerufene electrodynamische Kraft". Wiedemann's Annalen. Bd. XXXV. Rok 1888.

[3]) Uzasadnienie możliwości takiego pomiaru ob. odsyłacz na str. 150.

datnią lub ujemną, pobraną ze źródła elektryczności. Tuż ponad górną płytą wisiała jedna z dwóch igieł magnetycznych, tworzących bardzo czuły układ astatyczny; kierunek jej był prostopadły do promienia tarczy, a środek znajdował się ponad tarczą, blisko jej krawędzi. Zapomocą lunety, zwierciadła i skali można było obserwować odchylenia igły, jakie miały występować przy zmianie naboju kondensatora.

Przy doświadczeniach tych okazało się, że każdej zmianie znaku towarzyszyło odchylenie igły, skierowane tak, jakgdyby został zmieniony kierunek prądu urojonego, skierowanego jak powyżej wyłuszczono. Działanie biegunów dodatnich odpowiadało działaniu prądów, skierowanych tak, jak ruch, działanie biegunów ujemnych — działaniu prądu przeciwnego kierunkowi ruchu. Jeśli pominąć inne, łatwe do zbicia zarzuty przeciw tym doświadczeniom, jak np. ten, że odchylenia igły mogły być wywołane przez prądy rzeczywiste, powstające w płytach kondensatora, to pozostanie jeden jeszcze zarzut, o którym należy wspomnieć osobno i który należy usunąć. Brzmi on tak: Jeśli tarcza wiruje pomiędzy silnie nabitemi płytami kondensatora, to jest rzeczą możliwą, że będzie zwolna nabierała naboju rzeczywistego, bądź to wskutek własnego, aczkolwiek małego przewodnictwa, bądź to przez bezpośrednie pobieranie elektryczności z kondensatora. Ruch tych nabojów, jak to wykazał R o w l a n d, wpływałby elektrodynamicznie na igłę, i temu działaniu możnaby przypisać odchylenia, obserwowane przy moich doświadczeniach.

Chcąc być pewnym, że wynik dokonanych spostrzeżeń nie da się sprowadzić do tych znanych już zjawisk, wykonałem doświadczenie z kondensatorem, którego płyta dolna była podzielona na dwie, odizolowane od siebie połowy, które elektryzowano jednocześnie, lecz odwrotnie; środek igły znajdował się ponad tem miejscem płyty wirującej, przez który przechodził promień, prostopadły do linji podziału połówek kondensatora. Ponieważ obrót był szybki, więc o naboju powstającym wskutek przewodnictwa nie mogło już być mowy; że elektryczność nie przepływała również na tarczę z kondensatora, tego dowodziła obserwacja, że wychylenia dwóch elektrometrów, połączonych każdy z inną połową kondensatora, nie zmieniały się pomiędzy jedną a drugą zmianą znaku.

Przy tem urządzeniu również otrzymałem w chwili zmiany znaku odchylenia igły, naogół takie same.

Można więc uważać za fakt doświadczalnie dowiedziony, że ruch dielektryku, który znajduje się pod wpływem nabojów statycznych, może wzbudzić siły elektrodynamiczne...

Rozmiary przyrządu, użytego do doświadczeń z kondensatorem niepodzielonym, były następujące:

| | |
|---|---|
| Średnica tarczy wirującej . . . . . | 10,0 cm. |
| Grubość tarczy wirującej . . . . . . | 0,35 „ |
| Odległość tarczy wirującej od górnej okładki kondensatora . . . . . . | 0,14 „ |
| Odległość tarczy wirującej od dolnej okładki kondensatora . . . . . . | 0,25 „ |
| Średnica okładek . . . . . . . . . | 20,0 „ |

Różnica potencjału pomiędzy okładkami odpowiadała 0,3 cm. długości iskry w powietrzu pomiędzy kulkami o średnicy 2 cm. [około 11000 woltów].

Liczba obrotów wynosiła około 100 na sekundę.

Odchylenia przy zmianie znaku sięgały 2 do 3 podziałek (milimetrów).

Odległość zwierciadła od skali była równa 229 cm.

---

Dla rozstrzygnięcia pomiędzy teorjami polaryzacji Maxwell'a i Lorentz'a Eichenwald wprawiał w obrót cały kondensator, t. j. dielektryk wraz z okładkami; w ten sposób wytwarzał dwa prądy: konwekcyjny (ruch okładek) i Röntgen'owski (ruch dielektryku) o kierunkach odwrotnych. Ponieważ, według teorji Maxwell'a, gęstość naboju powierzchniowego przewodnika równa się polaryzacji dielektryku na jego granicy, przeto wspomniane prądy musiałyby mieć jednakowe natężenia, gdyby cała polaryzacja brała udział w ruchu: to odpowiada poglądom Hertz'a; jego teorja wymaga więc, aby działania obu prądów znosiły się całkowicie. Natomiast z teorji Lorentza wynika, że prąd konwekcyjny jest silniejszy od prądu Röntgen'owskiego w stosunku $\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}$, że więc poruszający się kondensator Eichenwald'a powinien działać na igłę magnesową słabiej, niż prąd kowekcyjny okładek, lecz w tym samym co i on kierunku. Doświadczenia Eichenwald'a potwierdziły to przewidywanie.

---

## Rozdział X.

## DRGANIA I FALE ELEKTROMAGNETYCZNE.

TEORJA Maxwell'a prowadzi do wniosku, że pole elektromagnetyczne rozchodzi się ze skończoną prędkością, równą prędkości światła; że jest zatem możliwe powstawanie fal elektromagnetycznych. Aby to były całe ciągi fal, analogiczne do tych, z jakiemi mamy do czynienia w akustyce i optyce, źródło, wysyłające te fale, musi się zachowywać podobnie, jak źródła dźwięku i światła, t. j. wykonywać drgania, któreby wzbudzały pola okresowo zmienne. Prędkość fali elektromagnetycznej jest olbrzymia, więc jeśli długość fali ma być na tyle mała, aby była dostępna pomiarowi, częstość drgań musi być ogromna, większa, niż można osiągnąć środkami mechanicznymi [1]).

### Drgania elektryczne.

Helmholtz w r. 1847 wskazał na możliwość oscylacyjnego wyładowania butelki lejdejskiej. W. Thomson (lord Kelvin) w roku 1853, a po nim Kirchoff w r. 1857 poddali to zagadnienie badaniu matematycznemu. Równania, do których doszli, wskazują, że 1-o w obwodzie, zawierającym kondensator o pojemności $C$ i cewkę o spółczynniku samoindukcji $L$ są możliwe prądy oscylujące, płynące tam i napowrót; 2-o warunkiem powstawania tych oscylacyj, czyli drgań elektrycznych jest, aby opór obwodu $R$ nie przekraczał pewnej wartości, którą później Feddersen nazwał „oporem granicznym“;

[1]) Obecnie na niektórych stacjach radjotelegraficznych (m. in. w Warszawie) są wytwarzane fale elektromagnetyczne zapomocą prądów zmiennych z dynamomaszyny o ogromnej prędkości obwodowej twornika (system Alexandersona), jednak długość takiej fali, przy częstości sięgającej 100.000 okresów na sek., wynosi około 3 km.; fala taka, oczywiście, nie nadaje się do doświadczalnego badania ogólnych własności fal elektromagnetycznych.

wartość ta wynosi $2\sqrt{\frac{L}{C}}$; 3-o okres drgań wynosi $T=2\pi\sqrt{LC}$, o ile opór jest niewielki; duże opory wpływają na pewne zwiększenie okresu.

Stwierdzenie, że takie drgania rzeczywiście zachodzą przy rozbrojeniu kondensatora, zbadanie doświadczalne tych drgań i wykazanie, że wyniki doświadczeń zgadzają się z przewidywaniami teorji, jest zasługą Feddersena.

## WILHELM FEDDERSEN.

*(1832 — 1918).*

Wilhelm Feddersen, duńczyk z pochodzenia, kształcił się w Gietyndze, Berlinie i Lipsku; w tem ostatniem mieście spędził życie, zajmując się nauką i filantropją. Zbadał szczegółowo w ciągu 10 lat (1857 — 1866) zjawiska, towarzyszące wyładowaniom butelki lejdejskiej.

### O wyładowaniach butelek elektrycznych [1]).

...Przyzwyczajono się wyładowanie elektryczne uważać albo za zjawisko, przebiegające równomiernie od najwyższego natężenia prądu, aż do zupełnego jego zaniku, albo też zakładać, że w miejscu przejścia elektryczności do powietrza występuje szereg oddzielnych przejść w postaci t. zw. wyładowań cząstkowych. Bliższe zbadanie wykazuje, że wprawdzie obie te formy rozbrojenia występują, ale że w wypadku, gdy drut łączący okładki jest z metalu, ustępują prawie zawsze miejsca innej, *„oscylującej“* formie rozbrojenia, w której elektryczności płyną nie w jednym kierunku, lecz *tam* i *napowrót*.

Nadto panowała opinja, że wyładowanie przez przewód o małym oporze trwa czas niewymiernie krótki. Moje badania nie potwierdziły tego przypuszczenia...

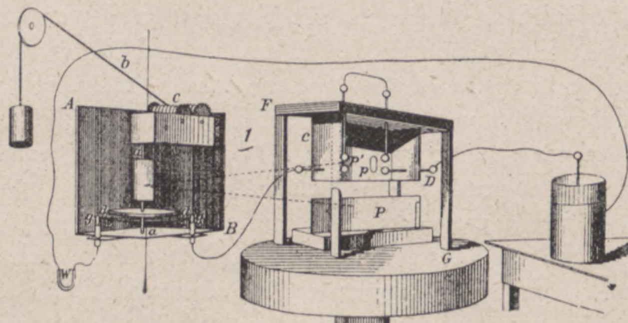
*Zasadniczy pogląd na ruch elektryczności podczas rozbrojenia.* Jeśli jako rozbrajacz włączyć zrazu możliwie mały opór, to w przewodzie występują naprzemian prądy elektryczne o przeciwnych kierunkach: występuje wyładowanie *„oscylacyjne“*. I nie należy rozumieć tego tak, że elektryczność płynie tylko tak długo, póki nie spożyje rozporządzalnego naboju [dodatniego],... lecz w ten sposób, że od chwili, gdy ustają siły przyśpieszające, elektryczność, dzięki posiadaniu pewnej bezwładności, płynie w dalszym ciągu w tym samym

[1]) „Ueber die electrische Flaschenentladung“, Ann. d. Ph. 116, r. 1862. Tłumaczono z wydania Ostwald's Klassiker Nr. 166.

kierunku. Wynikiem tego będzie, że butelka otrzyma rozporządzalny nabój ujemny. Gdy ładowanie ujemne posunie się tak daleko, że siła żywa [energja kinetyczna] poruszającej się elektryczności zostanie spożyta przez wzrastające napięcie nanowo rozdzielonych mas elektrycznych, nastąpi chwila spoczynku, poczem nastąpi wyładowanie butelki w kierunku przeciwnym, niż poprzednio. Potem idzie nowe wyładowanie dodatnie, potem znów ujemne i t. d. Dostrzegamy tu, że elektryczność przepływa przez drut w prądach falistych tam i zpowrotem. Gdybyśmy mogli pomyśleć sobie przewód bez żadnego oporu, to drgania nie skończyłyby się nigdy; ponieważ jednak każdy przewodnik stawia pewien opór, który działa tak, jakgdyby elektryczność doznawała pewnego tarcia, przez co część siły żywej ustawicznie ulega zużyciu (zamienia się w ciepło), przeto ruch elektryczny po pewnej liczbie oscylacyj musi stać się niedostrzegalnie małym. Zależnie od okoliczności, następuje to po 30, 20, 10, a nawet mniejszej jeszcze liczbie oscylacyj. Jeśli zauważyć pewną liczbę drgań i zwiększyć potem opór przewodu, to liczba drgań się zmniejszy. Każdej powierzchni elektrycznej [pojemności butelki] odpowiada pewien opór, przy którym w drucie łączącym określonego kształtu pozostaje tylko *pół oscylacji.* W tym punkcie ustaje wyładowanie oscylacyjne i ustępuje innej postaci. Od tego punktu, przy wzrastającym oporze, obserwuje się wyładowanie „ciągłe". Gdy elektryczność przerwie się poprzez iskrę, w drucie łączącym powstaje prąd elektryczny, osiąga wkrótce maximum, by następnie stopniowo słabnąć w miarę wyczerpywania się elektryczności w zbiorniku [butelce]... Ale i tu nie można podnosić oporu bezgranicznie, gdyż przy rosnącym oporze osiągamy punkt, w którym wyładowanie ciągłe nie występuje w całej czystości; przekonywamy się, że niema tu wyładowania butelki we właściwem znaczeniu tego wyrazu; występuje iskra sycząca, a gdy ją zbadamy, okazuje się, że składa się ona z wielu poszczególnych iskierek. Wyładowanie, z którem mamy do czynienia, nie dotyczy całego drutu łączącego w jednakowym stopniu; w każdej iskrze cząstkowej wyładowują się tylko bieguny przyrządu rozbrajającego... Te wyładowania obserwowałem już dawniej, używając cienkich rurek, które dla nadania im oporu napełniałem wodą destylowaną; nazwałem je wyładowaniami *„przerywanemi"*.

*Metoda badania.* Powyższe poglądy na wyładowania wynikają z szeregu badań... Z metod, dowodzących istnienia oscylacyj, przytaczam narazie tylko tę, która dała mi najbardziej uderzające wyniki. Jest to metoda wirującego zwierciadła.

Oś pionowa *a* (rys. 29) jest wprawiana w szybki ruch obrotowy (do 100 obrotów na sekundę) zapomocą śruby bez końca i kół zębatych *c*, poruszanych przez ciężar, zawieszony na sznurku *b*. Ramiona mosiężne *ee*, przymocowane do osi, stykają się przy określonem położeniu osi z drutami *gg*, odizolowanemi od podstawy, i w ten sposób zamykają obwód, utworzony z butelki lej-



Rys. 29.
Przyrząd do badania iskry.

dejskiej, 2 iskierników *p* i *p'*, drutów doprowadzających i oporu ciekłego *W*. W chwili połączenia drutów w iskiernikach przeskakują iskry; światło ich pada przez otwór w ekranie *D* na jedno z dwóch wirujących zwierciadeł, umieszczonych na osi *a*; są to zwierciadła wklęsłe, które rzucają obraz iskry na płytkę z matowego szkła P. Wskutek obrotu osi, obraz iskry rozciąga się w kierunku poziomym, co pozwala śledzić poszczególne fazy zachodzących w niej procesów. Płytka może być zastąpiona przez czułą płytę fotograficzną, co daje oczywistą przewagę nad bezpośrednią obserwacją okiem. Obie metody były używane. Aby iskry pojawiały się zawsze w tem samem miejscu, kulki iskierników zostały pokryte szellakiem i tylko małe krążki, średnicy $^1/_4$ mm., obnażono na zwróconych ku sobie częściach kul. Opór *W* stanowiły rurki o różnej średnicy, napełnione rozcieńczonym kwasem siarkowym. Drut łączący był albo kilkumetrowy, albo też składał się z trzech przewodów po 50 m. drutu z nowego srebra o grubości $^1/_4$ mm.

Przy włączeniu tych drutów otrzymywano drgania na tyle powolne, że można było obserwować okiem oscylacyjny charakter iskry. [Ponieważ opór drutu jest mały w porównaniu z oporem *W*, przeto wpływ drutu polegał głównie na zwiększeniu spółczynnika indukcji własnej obwodu ,od której to wielkości (ob. str. 160) zależy okres wyładowań. Istotnie, długi drut można było zastąpić drutem krótszym, zwiniętym w spiralę, której zwoje zostały odizolowane od siebie. Ograniczamy się tu do podania wyników przy użyciu długiego drutu łączącego].

...Gdy użyjemy wystarczająco dużej prędkości obrotu, jasna część rozciągniętego w ogon obrazu iskry, jaką obserwuje się na matowej płytce, rozpada się na prążki, równoległe do kierunku iskry i po-

przedzielane ciemnemi przerwami. Rys. 30 wyobraża w zasadniczych rysach obraz odwrotny czyli negatywny [części jasne są wyobrażone jako ciemne] zjawiska... Charakterystyczną jest okoliczność, stwierdzona też na drodze fotograficznej, że szerokość poszczególnych prążków jest jednakowa na całej przestrzeni obrazu i w niezmienionych okolicznościach niezależna od wielkości naboju...



Rys. 30.
Iskra przerywana.

*Z rosnącym oporem...* zmniejsza się liczba prążków, jednak bez najmniejszej zmiany w ich szerokości. Gdy włączałem opory z rozcieńczonego kwasu, doszedłem do punktu, w którym pozostawały tylko 3 prążki... Większy opór sprowadzał je do 2; dalsze włączanie rozcieńczonego kwasu zmniejszało natężenie światła drugiego prążka, dopóki w końcu nie przestał się on zupełnie ukazywać. Pozostawał tylko jeden prążek, dość ostro ograniczony na obu końcach. Tutaj trwanie rozbrojenia dochodziło do minimum. Przy dalszem wzrastaniu oporu szerokość prążka szybko wzmagała się. Światło słabło, szczególniej ku końcowi i nie mogło być mowy o ostrej granicy. Występowało zjawisko, często już przezemnie obserwowane: wyładowanie *ciągłe...* Odpowiadający temu opór nazwałem *oporem granicznym* dla wyładowania oscylacyjnego.

Oto przykład obserwacyj przy połączonych 2 butelkach: opory są tu podane w jednostkach dowolnych [jednostka ta wynosi około 14000 Ω].

| Opór: | |
|---|---|
| 0,014 | 3 prążki. |
| 0,025 | 2 prążki, ostatni już znacznie osłabiony. |
| 0,036 | 1 prążek, czasem zawiązek drugiego. |
| **0,041** | 1 prążek, zawsze sam, około 3 mm. szerokości. Trwanie wyładowania 0,00002 sek. |
| 0,048 | 1 prążek, wydaje się nieco szerszy niż poprzednio. |
| 0,071 | 1 prążek, 5—6 mm. szeroki... |

Metoda fotograficzna pozwoliła otrzymać szereg zdjęć, różniących się nieco pomiędzy sobą, w zależności od oporu obwodu, materjału, z którego były zrobione kulki iskiernika, długości iskry; jednak zasadniczy charakter obrazów jest zawsze ten sam: obraz rozpada się na szereg poprzecznych pasków, których jeden koniec jest świetniejszy; ten koniec, odpowiadający ujemnie naelektryzowanej kulce, leży naprzemian to po jednej, to po drugiej stronie, wskazując tem na zmienne co do znaku naboje kulek iskiernika.

Obrazy, otrzymane na kliszy, były potem przerysowane na kamień litograficzny. Podajemy tu parę najbardziej charakterystycznych.



Rys. 31.
Fotografja iskry elektrycznej.

Na większości przytoczonych figur można zauważyć szczególną różnicę pomiędzy obu końcami poprzecznych odcinków. Zaczynając od pierwszego odcinka (np. na rys. 31), zwracam uwagę na przerywane występowanie [jasnego] światła na biegunie, połączonym z okładką zewnętrzną (na biegunie ujemnym), stanowiące jaskrawy kontrast ze światłem, wychodzącem o wiele spokojniej i bardziej równomiernie z bieguna wewnętrznej okładki dodatnio naelektryzowanej butelki. Jak w teorji oscylacyj prąd odwraca się w drugim odcinku, tak i na obrazie wykazuje drugi odcinek tę samą szczególną różnicę, ale w odwróconym porządku, tak, że światło przerywane widać teraz na biegunie, połączonym z okładką wewnętrzną. W trzecim odcinku występuje ponowne odwrócenie i t. d...

---

Drgania elektryczne, powstające przy wyładowaniu kondensatora, są drganiami szybko tłumionemi, ponieważ sama iskra przedstawia dość znaczny opór, którego przezwyciężenie wyczerpuje energję początkową drgania. Pod naciskiem potrzeb radjotelegrafji, która swój nadzwyczajny rozwój zawdzięcza w dużej mierze możliwości wytwarzania fal niegasnących, pracowano energicznie nad tem zagadnieniem. M a x W i e n (r. 1908) urzeczywistnił drgania zanikające bardzo powoli, indukując drgania w obwodzie wtórnym o bardzo małym oporze. D u d d e l l (1900), włączając równolegle do łuku Volty kondensator i cewkę samoindukcyjną, wytwarzał obwód, w którym powstają drgania (prądy zmienne) o niesłabnącej amplitudzie. Ostateczne rozwiązanie dał amerykanin d e F o r e s t, konstruując (1905) t. zw. lampkę katodową, a następnie (1913) używając ją do wytwarzania drgań niegasnących. Po bliższe szczegóły odsyłamy czytelnika do książek, traktujących o telegrafji iskro-

wej (np. Machcewicz i Hubert: Zasady radjotelegrafji i radjotelefonji; M. Jeżewski: Radjotelegrafja i Radjotelefonja; J. Groszkowski: Lampy katodowe).

---

## Fale elektromagnetyczne.

Stwierdzenie oscylującego charakteru wyładowań elektrycznych otworzyło drogę usiłowaniom urzeczywistnienia fal elektromagnetycznych, przewidzianych i przepowiedzianych przez Maxwella. Dokonał tego Henryk Hertz.

### HENRYK RUDOLF HERTZ

*(1857 — 1894).*

Henryk Hertz urodził się w Hamburgu, jako syn tamtejszego adwokata, a następnie senatora. Wcześnie obudziło się w nim zamiłowanie do nauk przyrodniczych i matematyki, do których przykładał się usilnie. Obok tego lubił roboty mechaniczne; z własnej inicjatywy uczył się w latach szkolnych robót stolarskich i tokarskich i sam budował sobie proste, lecz dobre przyrządy mechaniczne i optyczne; to zamiłowanie nie opuszczało go w późniejszych latach i niejeden z przyrządów, których używał do badań naukowych, wyszedł z pod jego ręki.

Po ukończeniu szkoły średniej długo wahał się w wyborze zawodu; fizyka i matematyka pociągały go ku sobie, ale nie ufał swym siłom, a bał się miernoty. „Wolę być wybitnym przyrodnikiem, niż wybitnym inżynierem, lecz wolę być miernym inżynierem, niż miernym przyrodnikiem" — pisał w liście do swoich rodziców. Zaczął więc studja techniczne, ale rychło się spostrzegł, że z wykładanych przedmiotów interesują go tylko przedmioty fizyczno - chemiczne i matematyczne, a sama technika nie pociąga go wcale; po dojrzałym namyśle zmienił kierunek i wstąpił na uniwersytet w Monachjum dla oddania się umiłowanym studjom. Po roku przeszedł do Berlina, gdzie dostał się pod kierunek Helmholtz'a, który miał na jego umysłowość wywrzeć wpływ ogromny. Znakomity uczony odrazu poznał niepospolite dary początkującego studenta i roztoczył nad nim troskliwą opiekę, kierując jego pierwszemi pracami, podsuwając tematy i zagadnienia. Hertz stał się jego ulubionym uczniem; widział w nim Helmholtz przyszłego kontynuatora swych własnych idej naukowych.

Ale mistrz przeżył ucznia — coprawda o kilka miesięcy zaledwie. We wspomnieniu pośmiertnem Helmholtz tak charakteryzuje przedwcześnie zmarłego badacza:

„Los i natura zdały się w sposób niezwykły sprzyjać rozwojowi tego ducha ludzkiego, który łączył w sobie wszystkie warunki, konieczne do rozwiązywania najtrudniejszych zagadnień nauki. Umysł to był zdolny zarówno do najwyższej ścisłości i jasności myślenia logicznego, jak i do najskrupulatniejszej uwagi przy obserwowaniu niepozornych zjawisk. Niewtajemniczony obserwator przechodzi obok nich z lekkiem sercem, nie zwracając na nie uwagi; lecz dla bystrego wzroku wskazują one drogę, po której może przenikać w nowe, nieznane tajniki przyrody".

Niezwykłe zdolności Hertz'a objawiły się wkrótce. Zaraz po przyjeździe do Berlina dowiedział się o zadaniu konkursowem z dziedziny fizyki, ogłoszonem przez Wydział filozoficzny uniwersytetu. Zadanie dotyczyło pytania, czy elektryczność posiada bezwładność istotną (poza bezwładnością pozorną, wywoływaną przez samoindukcję); bezwładność owa musiałaby wpływać na natężenie prądów samoindukcyjnych, więc dokładne zbadanie tych prądów (t. zw. extraprądów) powinno było dać odpowiedź na postawione pytanie. Hertz niezwłocznie zabrał się do pracy, przedstawił Helmholtz'owi plan doświadczeń i pod jego okiem w kilka miesięcy uporał się z zagadnieniem, na które otrzymał odpowiedź przeczącą. Do tematu tego powracał jeszcze dwukrotnie przy użyciu innych dróg doświadczalnych, a otrzymane wyniki wykazywały z coraz większą dokładnością, że znane nam dotychczas zjawiska nie wymagają, abyśmy elektryczności przypisywali bezwładność. Przy wykonaniu pierwszej swej pracy naukowej Hertz wykazał taką pewność w posługiwaniu się środkami naukowemi, że Wydział, przyznawszy mu nagrodę, opatrzył ją w szczególnie pochlebną opinję. Dalsze lata przynoszą cały szereg prac teoretycznych i doświadczalnych z dziedziny elektrodynamiki, ważniejsze z nich dotyczą indukcji w kulach wirujących, wyładowań, nabojów pozostałych, promieni katodowych, porównania równań Maxwell'a z równaniami innych teoryj i w. in. Prócz tego pracował Hertz i w innych dziedzinach fizyki: pisał o zderzeniu ciał sprężystych, o parowaniu w próżni, o procesach adiabatycznych w powietrzu i t. d.

Te wszystkie prace były niejako wstępem tylko do największego jego odkrycia, do znakomitych „Badań nad rozchodzeniem się siły elektrycznej". Zagadnienie to kosztowało go cztery

lata wytężonej pracy (od 1887 do 1891), w ciągu których ogłosił 10 rozpraw, rozwijających stopniowo ten temat i ujmujących go coraz szerzej i coraz głębiej; parę wyjątków z nich przytaczamy poniżej. Pohop od podjęcia tych dociekań dało wielkie zadanie konkursowe, ogłoszone przez Akademję Berlińską; szukano rozstrzygnięcia pomiędzy teorją Maxwell'a a teorjami działania na odległość w odpowiedzi na pytanie, czy prądy polaryzacyjne w izolatorach wywołują takie same działania magnetyczne i elektrodynamiczne, jak prądy przewodzone. Temat ten podsunął Akademji Helmholtz z wyraźną myślą o Hertz'u, jako o człowieku, który posiadał wszystkie dane do rozwiązania tego trudnego i doniosłego zagadnienia. Wynikiem badań Hertz'a było odkrycie fal elektromagnetycznych, przewidzianych i przepowiedzianych już przez Maxwell'a. To odkrycie przyczyniło się, jak żadne inne, do rozpowszechnienia i spopularyzowania poglądów Faraday'a i Maxwell'a.

Potwierdziwszy w ten sposób doświadczalnie przewidywania teorji Maxwell'owskiej, Hertz przystąpił do rozwinięcia jej samej; usystematyzował ją i ujednostajnił, usuwając pozostałości dawniejszych poglądów i uwydatniając podstawowe założenia. Następnie rozszerzył teorję, stosując ją do ciał będących w ruchu; był to pierwszy krok na drodze, wiodącej do niezmiernie ważnych rezultatów; najważniejsze ogniwo z całego łańcucha dociekań, zapoczątkowanych przez Hertz'a, — elektronowa teorja Lorentz'a — usunęła teorję Hertz'a; poczynione przezeń założenia nie ostały się wobec faktów doświadczalnych [1]); to jednak nie uszczupla bynajmniej jego wielkiej zasługi, jako pioniera tej gałęzi badań fizyki teoretycznej.

W ciągu doświadczeń z drganiami elektrycznemi Hertz dokonał jeszcze jednego ważnego odkrycia. Zauważył on (w r. 1887), że iskra pomiędzy biegunami iskiernika przeskakuje łatwiej, jeśli w jej pobliżu wywołać drugą iskrę; zręcznie przeprowadzone doświadczenia przekonały go, że należy to przypisać światłu (przeważnie promieniom pozafiołkowym), wysyłanemu przez iskrę pomocniczą, które, padając na iskiernik, ułatwia powstawanie iskry. W rok później Hallwachs uogólnił i ściślej ujął spostrzeżenia Hertz'a; dowiódł on, że przewodniki, naelektryzowane ujemnie, tracą nabój pod wpływem promieni pozafiołkowych; jest to t. zw. zjawisko fotoelektryczne, badane następnie bardzo obszernie i szczegółowo.

Najdobitniejszy wyraz swym dążnościom do roztrząsania podsta-

---

[1]) Ob. str. 147 i 158.

wowych zagadnień nauki dał Hertz w „Zasadach mechaniki", które oddał do druku przed samą śmiercią. Podjął w nich tę samą pracę systematyzującą, jasno odsłaniającą założenia, dla wysnucia z nich całego gmachu twierdzeń naukowych, jaką wykonał już w zakresie elektrodynamiki w swych studjach nad równaniami Maxwell'a. Dążył do możliwego zredukowania zasadniczych pojęć mechaniki i szukał jednej podstawowej zasady, wystarczającej do rozwinięcia całej nauki — bez uciekania się do twierdzeń pomocniczych. Z pojęć zasadniczych mechaniki pozostawił tylko czas, przestrzeń i masę.

„Zadanie jej (mechaniki Hertz'a) polega na przedstawieniu związków naturalnych pomiędzy temi trzema i tylko temi trzema pojęciami. Czwarte pojęcie, jak np. pojęcie siły albo pracy... usunięto z liczby samodzielnych pojęć zasadniczych...

„Gdybyśmy zechcieli zrozumieć ruchy ciał otaczających i sprowadzić je do prostych i przejrzystych prawideł, uwzględniając to tylko, co widzimy bezpośrednio naszemi oczyma, to próba taka nie doprowadziłaby do niczego. Spostrzeglibyśmy wkrótce, że wszystko to, co możemy widzieć i dotykać, nie stanowi jeszcze świata, rządzonego określonemi prawami, w którym jednakowe warunki powodowałyby zawsze jednakowe skutki. Przekonalibyśmy się, że bogactwo świata rzeczywistego musi być różnorodniejsze, niż bogactwo świata, objawiającego się bezpośrednio naszym zmysłom. Jeśli pragniemy otrzymać obraz świata wykończony, w sobie zamknięty, stałym prawom podległy, to poza rzeczami, które widzimy, musimy przypuszczać istnienie innych, niewidzialnych rzeczy, musimy poszukiwać utajonych czynników poza granicami, dostępnemi dla naszych zmysłów".

Mechanika stwarza w tym celu nowe kategorje pojęć: siły albo energji. Ale Hertz obiera inną drogę:

„Możemy przyznać, że współdziała tu coś ukrytego, lecz odrzucić myśl, że to coś stanowi odrębną kategorję. Nic nam nie broni przypuścić, że owa rzecz ukryta nie jest niczem innem, jak znowu ruchem i masą; te ruchy i masy mogą się różnić od ruchów i mas widzialnych nie zasadniczo, lecz tylko w stosunku do nas i do naszych pospolitych środków spostrzegania... To, cośmy przywykli nazywać siłą albo energją, sprowadza się wówczas dla nas do działania mas i ruchów, choć mogą to być masy i ruchy niedostępne dla naszych grubych zmysłów".

Hertz szybko kroczył po szczeblach karjery akademickiej. W r. 1880 został asystentem Helmholtz'a, w trzy lata później habilitował się w Kolonji, w r. 1885 otrzymał katedrę nadzwyczajną

na politechnice w Karlsruhe, a w 1889 katedrę zwyczajną na uniwersytecie w Bonn. Tytuły członka korespondenta wielu akademij i towarzystw naukowych, medale i ordery świadczą o uznaniu, jakiem się cieszył pomiędzy uczonymi. Bliżsi znajomi darzyli go przyjaźnią za jego cichy i prawy charakter, za skromność i bezinteresowność, oraz za powagę i zapał, z jakim oddawał się swemu powołaniu.

Świetne nadzieje, jakie rokował młody jeszcze, a już niepospolicie zasłużony badacz, zniweczyła choroba i śmierć, która zabrała go w 37-ym roku życia i przecięła gwałtownie wszystkie plany i zamiary, które kiełkowały w jego genjalnym umyśle.

## Badania nad rozchodzeniem się siły elektrycznej [1]).

W r. 1879 Akademja Berlińska ogłosiła, na wniosek Helmholtz'a, zadanie konkursowe, polegające na stwierdzeniu doświadczalnem jakiegokolwiek związku pomiędzy siłami elektrodynamicznemi, a polaryzacją dielektryczną; związek taki przewidywała teorja elektryczności Maxwell'a, i na tej drodze można się było spodziewać wskazówek co do jej trafności. Hertz zamierzył pokusić się o rozstrzygnięcie zagadnienia; po dokonaniu pobieżnego obliczenia doszedł do wniosku, że do otrzymania dostrzegalnych działań potrzeba zmian polaryzacji daleko szybszych od tych, jakie dawała metoda Feddersena.

Ze wzoru na okres drgań elektrycznych (ob. str. 160) wynika, że można zwiększyć częstość drgań, zmniejszając pojemność i samoindukcję przewodnika. Gdyby zamiast okładek butelki lejdejskiej użyć prostych przewodników, zwróconych ku sobie końcami, ilość drgań możnaby zwiększyć, jak obliczał Hertz, około 100 razy. Aby drgania, które zwykle zanikają bardzo szybko, odbywały się bez przerwy, wystarczało połączyć przewodniki z biegunami wtórnemi cewki Ruhmkorff'a; prądy zmienne, odbierane z cewki, wzbudzają wahania elektryczne w przewodnikach, dostarczając potrzebnej na to energji, podobnie jak uderzanie młoteczkiem w napiętą strunę pobudza ją do wahań, a powtarzane ustawicznie, utrzymuje strunę w stanie ciągłego drgania. (Witkowski, t. III, str. 609).

W pobliżu takiego przewodnika pierwotnego, będącego siedliskiem drgań elektrycznych, Hertz umieszczał obwód wtórny, złożony z drutu wygiętego w koło lub prostokąt; kończył się on iskiernikiem, czyli dwiema kulkami mosiężnemi, oddzielonemi od siebie wąską przerwą, której wielkość można było regulować zapomocą śrubki mikrometrycznej. Gdy w przewodniku pierwotnym przeskakiwały iskry, maleńkie iskierki dawały się zauważyć również w iskierniku przewodnika wtórnego, z czego Hertz wywnioskował, że i w tym dru-

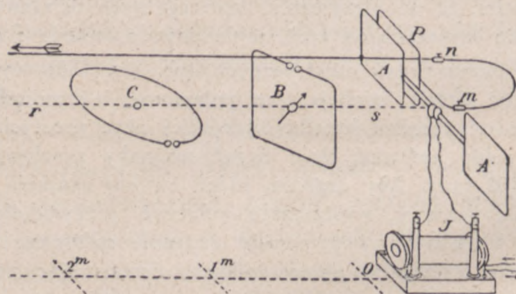
---

[1]) „Untersuchungen über die Ausbreitung elektrischer Kraft", Wyd. I w r. 1891, Wyd. II w r. 1895, jako tom II wydania zbiorowego Hertz'a (Gesammelte Werke Leipzig 1895). Jest to zbiór rozpraw nad tym przedmiotem, ogłaszanych od r. 1887 do 1891 i poprzedzonych uwagami wstępnemi autora.

gim przewodniku mają miejsce prądy wahadłowe, indukowane przez prądy wahadłowe pierwotne.

Szczegóły doświadczeń dawały się wyjaśnić tylko na zasadzie przypuszczenia, że działanie indukcyjne w przewodniku wtórnym nie powstaje jednocześnie z wywołującym je prądem, lecz rozchodzi się z szybkością skończoną, tak, że na przebycie drogi pomiędzy dwoma przewodnikami potrzeba określonego czasu. Porównywując szybkość rozchodzenia się fali indukcji w powietrzu, z szybkością rozchodzenia się fali elektrycznej wzdłuż drutu, łatwą do obliczenia z długości fali i ilości drgań, Hertz oblicza, że pierwsza szybkość wynosi $3{,}2 \times 10^{10}$ cm./sek., a więc znajduje liczbę bardzo bliską szybkości światła, jak tego wymaga teorja Maxwell'a; różnica daje się łatwo wytłumaczyć błędami doświadczenia. Bardziej jeszcze bezpośredniego dowodu istnienia fal elektrycznych w powietrzu dostarczyła obserwacja fal stojących; poniżej podajemy tłumaczenie odnośnej pracy Hertz'a. Przyrządy, użyte przy niej, są opisane w jednej z rozpraw poprzednich.

Przewodnik pierwotny *AA* (rys. 32) składał się z dwóch kwadratowych płyt mosiężnych o krawędziach 40 cm. długości, połączonych drutem miedzianym 60 cm. długości. W środku drutu znajdował się iskiernik, w którym drgania były wzbudzane zapomocą nader silnych rozbrojeń cewki indukcyjnej *J*...




Rys. 32.
Oscylator Hertz'a.

Za przewodnik wtórny służył drut *C* w kształcie koła o promieniu 35 cm. Iskiernik był regulowany zapomocą śrubki mikrometrycznej... Przewodnik był dostrojony do rezonansu z przewodnikiem pierwotnym. Czas wahania (pół okresu) obu przewodników, obliczony na podstawie pojemności i samoindukcji przewodnika pierwotnego, wynosił jednę stumiljonową sekundy...

## O falach elektrodynamicznych w powietrzu i o ich odbiciu [1]).

...Podczas doświadczeń, w których badałem wpływ drgania prostolinjowego na przewodnik wtórny, spostrzegałem wielokrotnie zjawiska, które zdawały się wskazywać na odbicie działań indukcyjnych od ścian gmachu... Gdy stwarzałem warunki coraz korzystniejsze dla odbicia, zjawisko występowało coraz wyraźniej, a podane tłumaczenie zyskiwało wciąż na prawdopodobieństwie. Nie zatrzymuję się jednak na tych niedoskonałych doświadczeniach, lecz przystępuję wprost do opisu doświadczeń podstawowych.

Sala do wykładu fizyki [Politechniki w Karlsruhe], w której dokonywano tych doświadczeń, ma blisko 15 m. długości, 14 szerokości i 6 wysokości. Równolegle do obu ścian podłużnych biegną jednak dwa rzędy słupów żelaznych, które razem stanowią dla działań elektrodynamicznych zaporę napewno nie słabszą niż stała ściana; części sali, pomieszczone poza słupami, nie mogą więc być brane w rachubę. Dla doświadczeń pozostawała zatem przestrzeń środkowa o 15 m. długości, 8,5 m. szerokości i 6 m. wysokości. Z tej przestrzeni kazałem usunąć wiszące części przewodów gazowych i pająki żelazne tak, że nie zawierała nic, prócz drewnianych stołów i ławek, które trudno było usunąć, z których strony jednak nie spodziewałem się wcale szkodliwych działań; nie zauważyłem ich też zupełnie. Jedną ze ścian szczytowych, na której miało następować odbicie, była masywna ściana z piaskowca, pokryta licznymi przewodami gazowymi Aby nadać ścianie bardziej jeszcze charakter powierzchni przewodzącej, umocowano na niej blachę cynkową 4 m. wysoką i 2 m. szeroką; połączono ją drutami z rurami gazowemi i z pobliską rurą wodociągową, szczególnie zaś dbano o to, aby elektryczność, która mogłaby się skupiać na górnym i dolnym końcu blachy, mogła stamtąd odpływać możliwie swobodnie.

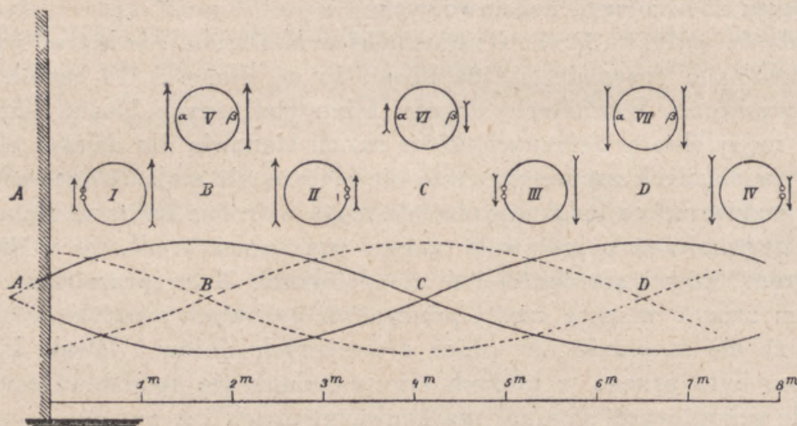
Nawprost środka tej ściany, w odległości 13 m. od niej, a więc w odległości 2 m. od ściany przeciwległej, ustawiono przewodnik pierwotny (rys. 32)... Kierunek drutu przewodzącego był teraz pionowy, zatem siły, wchodzące w grę, wykonywały wahania w kierunku pionowym... Prostopadłą, poprowadzoną ze środka przewodnika pierwotnego do powierzchni odbijającej, nazywamy normalną. Nasze doświadczenia ograniczają się do jej pobliża. Płaszczyznę pionową, równoległą do normalnej, będziemy nazywali w ciągu naszych

---

[1]) „Ueber elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion". Wiedemanns Annalen. 34. 1888.

doświadczeń płaszczyzną drgań, a płaszczyznę prostopadłą do normalnej — płaszczyzną fali.

Przewodnik wtórny był... kołem o promieniu 35 cm. Było ono umocowane tak, że mogło obracać się we własnej płaszczyźnie około osi, przechodzącej przez jego środek i prostopadłej do jego płaszczyzny. Ta oś miała przy doświadczeniach kierunek poziomy; była tak umocowana w podstawie drewnianej, że mogła obracać się wraz z krążkiem około osi pionowej.




Rys. 33.
Fale elektromagnetyczne stojące.

Po takich przygotowaniach występuje w sposób najbardziej uderzający następujące zjawisko: umieszczamy środek naszego przewodnika wtórnego na normalnej, a płaszczyznę jego w płaszczyźnie drgań i zwracamy iskiernik to w stronę ściany odbijającej, to go od niej odwracamy. Wogóle iskry wykazują przy tych położeniach znaczne różnice. Jeśli wykonywamy doświadczenie w odległości 0,8 m. od ściany, to iskry są znacznie silniejsze, gdy iskiernik jest zwrócony ku ścianie. Możemy tak wyregulować długość iskry, że, gdy iskiernik zwrócony jest ku ścianie, przebiega nieustanny potok iskier, a w położeniu odwrotnem iskier niema wcale. Powtórzywszy doświadczenie w odległości 3 m. od ściany, zauważymy naodwrót — ciągły potok iskier w iskierniku odwróconym, a nieobecność iskier w iskierniku zwróconym ku ścianie. Jeśli oddalimy się o 5,5 m., to zachodzi nowe odwrócenie, iskra od strony ściany ma przewagę nad iskrą z drugiej strony. W końcu, w odległości 8 m. spostrzegamy, że dokonała się

nowa przemiana, iskra jest silniejsza po stronie odwróconej od ściany, ale różnica nie jest już tak znaczna. Dalsze odwrócenie również już nie zachodzi, nie dopuszczają do tego: przeważająca siła działania bezpośredniego i złożone siły, które mają swe siedlisko w pobliżu drgań pierwotnych. Rysunek nasz, w którym skala podaje odległości od ściany, wyobraża w I, II, III, IV obwód wtórny w tych położeniach, w których tworzenie się iskier było silniejsze. Przemienny charakter stanu przestrzeni występuje tu wyraźnie.

W odległościach, leżących pomiędzy wspomnianemi, obie iskry, o których mowa, stają się sobie równe; różnica pomiędzy iskrami maleje również w bezpośredniej bliskości ściany. Możemy więc uważać te punkty, mianowicie *A*, *B*, *C*, *D* rysunku, niejako za punkty węzłowe. Nie należy jednak uważać przedziału pomiędzy jednym z tych punktów a następnym za pół długości fali... Wolno natomiast przypuszczać, że połowie fali odpowiada dwukrotna odległość tych punktów, które więc będą rozgraniczały ćwiartki fal. Istotnie, na podstawie tego przypuszczenia oraz wypowiedzianych już poglądów zasadniczych, dojdziemy do zupełnego objaśnienia naszego zjawiska.

Pomyślmy mianowicie, że fala pionowej siły elektrycznej zdąża ku ścianie i zostaje odbita z mało zmienionem natężeniem, co wywołuje powstawanie fali stojącej. Gdyby ściana była doskonale przewodząca, to na samej jej powierzchni musiałby się wytworzyć węzeł, gdyż wewnątrz i na granicy przewodnika doskonałego siła elektryczna może być tylko znikomo mała. Ale ściana nasza nie może uchodzić za doskonale przewodzącą; częściowo nie jest ona nawet metalowa, a o ile jest z metalu, nie jest bardzo rozległa. Więc na jej powierzchni siła elektryczna będzie posiadała jeszcze pewną wartość, przyczem kierunek jej będzie odpowiadał kierunkowi fali padającej. Węzeł, który w wypadku przewodnictwa doskonałego wytworzyłby się na samej ścianie, w rzeczywistości musi leżeć nieco poza jej powierzchnią, mniej więcej w punkcie *A* naszego rysunku. Jeśli więc podwójna odległość *AB*, czyli odległość *AC* ma odpowiadać połowie długości fali, to stosunki geometryczne fali stojącej będą takie, jak je w przyjęty sposób symboliczny wyobraża pełna linja falowa na rysunku. Siły, działające w pewnej określonej chwili po obu stronach koła w położeniach I, II, III, IV, są co do wielkości i kierunku wyobrażone przez dorysowane strzałki. Jeśli więc w pobliżu węzła iskiernik jest zwrócony ku węzłowi, to siła większa działa w drucie w warunkach bardziej sprzyjających, wbrew sile mniejszej, działa-

jącej w warunkach mniej pomyślnych [1]. Jeśli natomiast iskiernik jest odwrócony od węzła, to siła większa w warunkach mniej sprzyjających działa teraz wbrew sile mniejszej, działającej w warunkach bardziej pomyślnych. Niezależnie od tego, która z sił przeważy w ostatniem położeniu, w każdym razie iskry muszą być w tym wypadku słabsze niż w pierwszym, a to objaśnia zmianę znaku naszego zjawiska po każdem posunięciu się o ćwierć fali.

W sposób bardzo bezpośredni możemy potwierdzić trafność tego obrazu fali elektrycznej, jakiśmy sobie wytworzyli. Jeśli mianowicie ustawimy płaszczyznę naszego koła nie w płaszczyźnie drgań, lecz w płaszczyźnie fali [równoległej do ściany odbijającej], to siła elektryczna jest jednakowa we wszystkich częściach krążka [2]... Iskry, jak się tego można było spodziewać, znikają we wszystkich odległościach w najwyższym i najniższym punkcie krążka, najsilniejsze powstają w punktach, leżących w jednej płaszczyźnie poziomej z normalną. Ustawiamy więc iskiernik w jednem z ostatnich położeń i oddalamy się powoli od ściany. Zauważymy, że bezpośrednio przy przewodzącej powierzchni metalowej niema iskier wcale, ale występują one już przy bardzo małem oddaleniu; rosną następnie szybko i w *B* osiągają względnie największą siłę, poczem znów słabną. W *C* stają się nadzwyczaj słabe, ale wzrastają ponownie przy dalszem posuwaniu się. Powtórne osłabienie wprawdzie już nie występuje, natomiast iskry wzmagają się ustawicznie z powodu wzrastającego zbliżenia do drgań pierwotnych. Gdybyśmy unaocznili zapomocą krzywej siłę iskry w przedziale *AD*, odkładając ją w kierunku dodatnim i ujemnym, to otrzymalibyśmy w przybliżeniu w sposób bezpośredni krzywą wyciągniętą na rysunku.

Rozpoznaliśmy więc z zupełną pewnością w *A* i *C* węzły, natomiast w *B* i *D* strzałki fali elektrycznej. W innem znaczeniu możemy jednak punkty *B* i *D* również uważać za węzły. Są to mianowicie węzły stojącej fali magnetycznej, która, według teorji, towarzyszy fali elektrycznej i jest względem niej przesunięta o ćwierć długości fali...

---

[1] [Kierunek siły elektrycznej jest pionowy, więc indukcja odbywa się przeważnie w punktach przewodnika, leżących na końcach średnicy poziomej. Jeśli przewodnik jest przerwany przez iskiernik w jednym z tych punktów, to z pod wpływu indukcji wyjęto część, najsilniej podlegającą indukcji. Wskutek tego strona przeciwległa przewodnika zyskuje przewagę].

[2] [Ale pochylenie części krążka względem siły jest różne: na końcach osi poziomej kierunki te są równoległe, na końcach pionowej — wzajemnie prostopadłe].

Linja kropkowana na naszym rysunku wyobraża falę magnetyczną...

Odległość pomiędzy *B* i *C* wynosiła, według naszych pomiarów, 2,4 m... Połowa długości fali wynosi zatem 4,8 m. Dla tego samego aparatu otrzymałem na drodze pośredniej długość połowy fali=4,5 m. Różnica nie jest tak wielka, abyśmy nie mogli w nowym pomiarze widzieć potwierdzenia pomiaru dawnego... Zresztą wartość średnia byłaby może najbardziej bliską prawdy... Czas wahań naszego przyrządu, obliczony w przypuszczeniu, że długość fali równa się wartości średniej pomiarów, a szybkość rozchodzenia się jest równa szybkości światła — wynosi mniej więcej 1,55 stomiljonowych sekundy, zamiast obliczonych 1,4 stomiljonowych.

Te same doświadczenia powtórzono z przyrządem mniejszym, wysyłającym fale, których połowa długości wynosiła 2 m., szybkość drgań była więc przeszło dwa razy większa, niż poprzednio. Wyniki były nie tak wyraźne w szczegółach, ale naogół potwierdziły wyniki pierwszych doświadczeń.

Do opisania doświadczeń, o których mowa w tym i w innych artykułach, nie uciekałem się w punktach zasadniczych do żadnej określonej teorji; istotnie, siła przekonywująca doświadczeń jest niezależna od wszelkiej teorji. Mimo to widać jasno, że wszystkie te doświadczenia stanowią oparcie dla owej teorji zjawisk elektrodynamicznych, którą pierwszy stworzył Maxwell, opierając się na poglądach Faraday'a. Zdaje mi się również, że i skojarzona z tą teorją hipoteza, dotycząca istoty światła, zyskuje w umyśle naszym silniejsze niż dotąd podstawy.

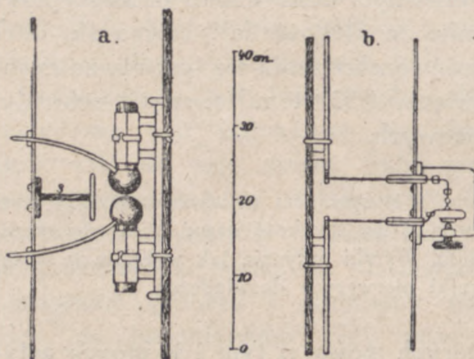
Jest to bez wątpienia myśl ciekawa, że badane przez nas zjawiska w powietrzu przedstawiają w miljonowem powiększeniu te same procesy, jakie zachodzą pomiędzy płytkami szklanemi, wywołującemi barwne prążki Newton'a, lub też w pobliżu Fresnel'owskiego zwierciadła...

Fale, otrzymywane dotychczas, zbyt były długie, aby na nich wykazać analogję zupełną pomiędzy falami elektromagnetycznemi a świetlnemi. Zwiększając coraz bardziej szybkość drgań, Hertz doszedł w końcu do fal tak krótkich, że mógł z niemi otrzymać zasadnicze zjawiska optyczne.

## O promieniach siły elektrycznej [1]).

### Przyrządy.

Metoda wywoływania fal krótkich jest taka sama, jak ta, według której wzbudzano fale długie. Przewodnik pierwotny można najprościej opisać w sposób następujący: Wyobraźmy sobie walec mosiężny o średnicy 3 cm. i długości 26 cm. (rys. 34a), przerwany w środku przez iskiernik, ograniczony z obu stron przez powierzchnie kuliste o promieniu 2 cm. Długość przewodnika równa się mniej więcej połowie długości takiej fali, jaką drgania w nim wzbudzone wywołują w drutach prostych; już stąd można zorjentować się w przybliżeniu, jaka jest częstość drgań...



Rys. 34.
Oscylator i detektor Hertz'a.

Do wykazywania sił elektrycznych w przestrzeni służyły i tym razem drobniutkie iskierki, wzbudzane przez te siły w przewodniku wtórnym... Używano głównie przewodnika wtórnego o następującej budowie (rys. 34b): dwa proste druty 50 cm. długie i 5 mm. grube ustawiono tak wzdłuż jednej linji prostej, że ich końce zwrócone ku sobie znajdowały się w odległości 6 cm. od siebie; od tych końców szły dwa druty, 15 cm. długości i 1 mm. średnicy, równolegle względem siebie, a prostopadle do pierwszych drutów, i kończyły się iskiernikiem, urządzonym tak, jak w przewodniku kołowym (str. 170). W przewodniku prostolinjowym nie liczono już na rezonans, który też występował tu bardzo słabo.

### Wzbudzanie promieni.

Wywołując drgania pierwotne w dużej swobodnej przestrzeni, można zapomocą przewodnika prostolinjowego otrzymać w ich pobliżu w zmniejszonej skali wszystkie te zjawiska, jakie otrzymywałem w bliskości drgań powolniejszych. Największa odległość, przy której

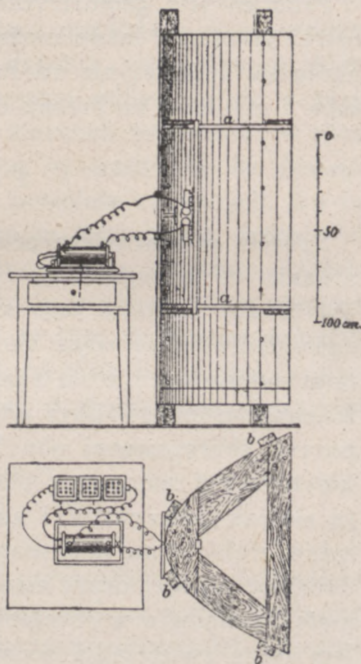
[1]) „Ueber Strahlen elektrischer Kraft". Wiedemann's Ann. 36. 1889.



HENRYK HERTZ

iskry były jeszcze widziane w przewodniku wtórnym, wynosiła 1,5 m., a przy dobrym stanie iskiernika pierwotnego — nawet 2 m. Działanie w jednym kierunku wzmacnia się, jeśli po przeciwnej stronie przewodnika pierwotnego ustawić w odpowiedniej odległości ściankę przewodzącą, równoległą do kierunku drgań... Można spodziewać się jeszcze większego wzmocnienia, jeśli zamiast płaskiej ścianki użyć zwierciadła wklęsłego w kształcie walca parabolicznego, którego linja ogniskowa przypada na oś podłużną przewodnika pierwotnego (rys. 35)... Źródło fal umieszczono w środku linji ogniskowej. Druty, przez które doprowadzałem rozbrojenia, przechodziły przez zwierciadło i nie przeszkadzały doświadczeniom... Badając przestrzeń w pobliżu drgań zapomocą naszego przewodnika, widzimy, że poza zwierciadłem i w bok od niego niema żadnego działania, zato w kierunku osi optycznej widać iskry jeszcze w odległości 5 — 6 m...

Sporządziłem drugie zwierciadło wklęsłe, zupełnie takie, jak pierwsze i umieściłem wewnątrz niego prostolinjowy przewodnik wtórny tak, że oba proste druty znajdowały się na linji ogniskowej, a druty, prowadzące do iskiernika, przechodziły w najkrótszej odległości przez ściankę zwierciadła, od której ją odizolowano. Iskiernik znajdował się w ten sposób poza zwierciadłem i obserwator mógł go ustawiać i regulować, nie stając na drodze biegnącym falom. Spodziewałem się, że chwytając promienie zapomocą takiego urządzenia, będę mógł je obserwować na jeszcze większą odległość; oczekiwania mnie nie zawiodły... Największa odległość, na której mogłem śledzić promień, wynosiła 16 m.



Rys. 35.
Zwierciadło Hertz'a.

## Rozchodzenie się wzdłuż linij prostych.

Jeśli na prostej, łączącej zwierciadła, ustawić ekran z blachy cynkowej 2 m. wysoki i 1 m. szeroki, prostopadle do kierunku promieni, to iskry wtórne gasną całkowicie. Równie zupełny cień daje ekran,

pokryty cynfolją lub papierem złotym... Izolatory nie zatrzymują promieni; przechodzą one przez drewnianą ścianę lub drzwi; ze zdumieniem można obserwować występowanie iskier w zamkniętym pokoju. Jeśli po obu stronach promienia, symetrycznie do niego i prostopadle do jego kierunku, ustawić dwa ekrany przewodzące 2 m. wysokie i 1 m. szerokie, to nie wpływają one wcale na osłabienie iskier wtórnych, dopóki szerokość szpary pomiędzy nimi nie jest mniejsza od otworu zwierciadeł, t. j. nie mniejsza od 1,2 m. Jeśli szparę zmniejszać, to iskry słabną, wreszcie gasną, gdy szerokość szpary staje się mniejszą od 0,5 m...

Promień jest geometrycznie ostro ograniczony, cień nie ma tak ostrej granicy, i łatwo można wywołać zjawiska, odpowiadające uginaniu się światła; nie udało mi się jednak dotąd obserwować maximów i minimów na brzegu cienia.

## Polaryzacja.

Sposób, w jaki nasze promienie powstają, nie pozwala wątpić, że drgania ich są poprzeczne i że są spolaryzowane linjowo w znaczeniu optycznem. Dowieść tego możemy także doświadczalnie. Obracajmy zwierciadło odbierające około promienia, jak około osi, dopóki jego linja ogniskowa a z nią i przewodnik prostolinjowy nie przyjmie położenia poziomego; iskry wtórne zanikają przy tem stopniowo, a przy pozycji skrzyżowanej obu linij ogniskowych wcale nie otrzymujemy iskier, nawet zsunąwszy blisko zwierciadła. Zwierciadła te zachowują się jak polaryzator i analizator przyrządu polaryzacyjnego. Kazałem zrobić ramę drewnianą ośmiokątną 2 m. szeroką i 2 m. wysoką i rozpiąć na niej druty miedziane o grubości 1 mm.; druty były rozpięte równolegle w odległości 3 cm. jeden od drugiego. Gdy ustawiłem teraz zwierciadła równolegle i pomiędzy nie wsunąłem zasłonę drucianą tak, że kierunek drutów przecinał prostopadle kierunek linij ogniskowych, to zasłona niemal wcale nie osłabiała iskier. Jeśli jednak było umieścić zasłonę tak, że jej druty były równoległe do linij ogniskowych, wówczas zasłona zatrzymywała promień całkowicie. Więc, o ile chodzi o przepuszczanie energji, zasłona zachowuje się względem naszego promienia tak samo zupełnie, jak płytka turmalinowa względem spolaryzowanego promienia optycznego. Teraz ułożono poziomo linję ogniskową zwierciadła odbierającego; jak już wspomniałem, iskier nie było; nie było ich i wtenczas, gdy na drodze promienia stawiano zasłonę, jeśli jej druty przebiegały pionowo lub

poziomo. Gdy jednak ustawiono ramę tak, że druty tworzyły z poziomem kąt 45°, to przy usuwaniu zasłony w iskierniku wtórnym natychmiast powstawało światło. Najwidoczniej zasłona rozkłada drgania padające na dwie składowe i przepuszcza tylko tę z nich, której kierunek jest prostopadły do drutów zasłony. Ta składowa tworzy kąt 45° z linją ogniskową drugiego zwierciadła i, rozłożona ponownie przez to zwierciadło, jest w stanie oddziaływać na przewodnik wtórny. Zjawisko posiada zupełną analogję z rozjaśnianiem ciemnego pola widzenia, wytworzonego przez dwa skrzyżowane nikole, przez wsunięcie płytki turmalinowej w odpowiedniem położeniu.

Niechaj mi będzie wolno dodać tu jeszcze jednę uwagę, dotyczącą polaryzacji. Dotychczasowe środki badania pozwalają nam rozpoznawać tylko siłę e l e k t r y c z n ą. Gdy drgania pierwotne są skierowane pionowo, to i drgania siły elektrycznej odbywają się w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez kierunek promienia; w płaszczyźnie poziomej niema ich wcale. Lecz, opierając się na doświadczeniu, zdobytem w dziedzinie prądów powolnie zmiennych, nie mamy wątpliwości, że drganiom elektrycznym towarzyszą drgania siły magnetycznej, które mają miejsce w płaszczyźnie poziomej, przechodzącej przez kierunek promienia, a znikają w płaszczyźnie pionowej. Polaryzacja nie polega więc bynajmniej na tem, że drgania odbywają się w płaszczyźnie pionowej, lecz raczej na tem, że drgania w płaszczyźnie pionowej są natury elektrycznej, a drgania w płaszczyźnie poziomej natury magnetycznej.

## O d b i c i e.

Że fale odbijają się od powierzchni przewodzących, dowiedliśmy zapomocą interferencji fali odbitej z falą padającą, nadto posługiwaliśmy się już odbiciem przy budowie naszych zwierciadeł wklęsłych. Obecnie możemy jednak oddzielić jednę falę od drugiej. W obszernym pokoju ustawiłem oba zwierciadła obok siebie, tak, że otwory znajdowały się po tej samej stronie, a osie przecinały się w odległości mniej więcej 3 m. przed nimi. Rzecz oczywista, że iskiernik zwierciadła odbierającego iskier nie dawał. Teraz ustawiłem w punkcie przecięcia osi płaską ściankę pionową z cienkiej blachy cynkowej, wysoką i szeroką na 2 m.; jej płaszczyzna była prostopadła do dwusiecznej kąta, jaki tworzyły osie zwierciadeł. Otrzymałem żywy potok iskier, wzbudzanych przez promienie, odbite od ścianki. Iskry gasły, skoro obracano ściankę o 15° w jednę lub w drugą stronę od

położenia właściwego; odbicie jest więc prawidłowe i rozpraszanie przy niem nie występuje...

Dotąd linje ogniskowe zwierciadeł stały pionowo, zatem płaszczyzna drgań była prostopadła do płaszczyzny padania. Chcąc mieć odbicie, przy którem drgania odbywałyby się w płaszczyźnie padania, ustawiłem linje ogniskowe obu zwierciadeł poziomo. Obserwowałem to samo zjawisko, co i w położeniu poprzedniem, i nie mogłem dostrzec najmniejszej różnicy w natężeniu promienia odbitego w obu wypadkach...

Załamanie.

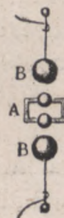
Chcąc się przekonać, czy przy przechodzeniu promieni z powietrza do innego ośrodka izolującego da się wykazać zjawisko załamania, kazałem sporządzić duży pryzmat z masy asfaltowej. Podstawę pryzmatu stanowił trójkąt równoramienny, o ramionach wynoszących 1,2 m. i kącie łamiącym około 30°. Wysokość pryzmatu, którego krawędź łamiąca była ustawiona pionowo, wynosiła 1,5 m.; ponieważ jednak pryzmat waży około 12 centnarów i byłby trudny do poruszania w całości, przeto utworzono go z trzech części, nakładanych jedna na drugą, każda o wysokości 0,5 m. Masa była wlewana w skrzynki drewniane, których nie zdejmowałem z masy, ponieważ, jak się okazało, nic nie przeszkadzały...

Zwierciadło wysyłające ustawiono w odległości 2,6 m. od pryzmatu, tak zwrócone w stronę jednej z powierzchni łamiących, że promień środkowy był skierowany możliwie dokładnie na środek ciężkości pryzmatu i padał na powierzchnię łamiącą pod kątem 65°, licząc od strony powierzchni tylnej. Przy krawędzi łamiącej i przy powierzchni naprzeciwległej ustawiono dwie zasłony przewodzące, które odcinały promieniom wszelką drogę, nie wiodącą przez pryzmat. Po stronie promienia wychodzącego nakreślono na podłodze koło o promieniu 2,5 m., którego środek stanowił środek ciężkości podstawy pryzmatu. Wzdłuż tego koła przesuwano zwierciadło odbierające tak, aby otwór jego był zawsze zwrócony ku środkowi koła. Gdy zwierciadło ustawiono początkowo na przedłużeniu promienia padającego, iskier w niem nie otrzymano; w tym kierunku pryzmat rzucał zupełny cień. Ale iskry zaczęły występować, gdy zwierciadło przesunięto ku tylnej powierzchni pryzmatu i to wówczas dopiero, gdy odchylenie kątowe od położenia początkowego wynosiło około 11°. Potok iskier wzmagał się, aż do odchylenia mniej więcej o 22°, poczem słabł znowu. Ostatnie iskry dawały się widzieć mniej więcej przy 34°

odchylenia. Gdy ustawiono zwierciadło w kierunku najsilniejszego działania, a następnie odsuwano je wzdłuż promienia koła, to iskry można było wyśledzić jeszcze na odległość 5—6 m... Kątowi łamiącemu = 30° i odchyleniu o 22° w pobliżu położenia najmniejszego odchylenia odpowiada spółczynnik załamania 1,69. Optyczny spółczynnik załamania dla ciał smołowatych wynosi 1,5 i 1,6. Niedokładność moich pomiarów i nieczystość użytego materjału nie pozwala przypisywać większego znaczenia wielkości tej różnicy ani jej kierunkowi[1]).

Badanym przez nas tworom nadaliśmy nazwę promieni elektrycznych; obecnie możemy je chyba określić jako promienie świetlne o bardzo długiej fali. Dla mnie przynajmniej zdają się przytoczone doświadczenia najzupełniej usuwać wątpliwości co do tożsamości światła, ciepła promienistego i rozchodzenia się fal elektrodynamicznych. Zdaje mi się, że można teraz bez wahania wyciągać korzyści, jakie z założenia tej tożsamości płyną zarówno dla dziedziny optyki, jak i dla nauki o elektryczności.

Metody Hertz'a udoskonalił głównie Righi, używając, jako przewodnika pierwotnego (wibratora), dwóch kul mosiężnych, których zwrócone ku sobie części zanurzone są w nafcie lub oleju; bieguny cewki łączą się nie wprost z temi kulami, lecz z dwiema innemi $B$ i $B^1$ (rys. 36); iskry biją z tych kul na kule wibratora $A$ i wyzwalają w nim drgania elektryczne.



Rys. 36. Oscylator Righi'ego.

---

## Badanie i zastosowanie fal elektromagnetycznych.

Odkrycie Hertza miało olbrzymie znaczenie, zarówno teoretyczne, jak i praktyczne. Teoretycznie rozstrzygało spór pomiędzy poglądami dawniejszemi, a koncepcją Faraday'a i Maxwell'a — rozstrzygało nieodwołalnie na korzyść tej ostatniej. Dalsze badania dotyczyły szczegółowych własności fal elektromagnetycznych — ich wysyłania, rozchodzenia się i odbioru. Wysyłanie sprowadzało się do wytwarzania drgań elektrycznych, odpowiednio szybkich i intensywnych — mówiliśmy o tem w poprzednim ustępie.

W r. 1890 Lecher wprowadził metodę, ułatwiającą badanie fal. Zamiast pozwalać fali rozpraszać się w całej otaczającej przestrzeni, skierowywał ją wzdłuż dwóch wyciągniętych drutów. Urządzenie jego było podobne do tego, jakiego używał już Hertz (rys. 32); oscy-

---

[1]) Pp. Oliver'owi Lodge i Howard'owi udało się wykazać załamanie i skupienie promieni elektrycznych zapomocą wielkich soczewek. (Phil. Mag. 1889).

lator pierwotny, połączony z cewką indukcyjną, był taki sam, natomiast układ wtórny składał się z dwóch płyt takich, jak *P*, ustawionych każda nawprost jednej z płyt oscylatora pierwotnego; prowadzące od nich 2 długie druty *mn* przebiegały równolegle, w niewielkiej od siebie odległości. Drgania w oscylatorze pierwotnym indukują drgania w przewodach wtórnych (drutach); odbite od końców drutów, przy odpowiedniej ich długości, wytwarzają fale stojące (ob. Witkowski, t. III, ust. 240—241). Dla ich wykrycia Lecher umieszczał pomiędzy końcami drutów rurkę próżniową; gdy fale stojące powstawały i na końcach drutów wytwarzały się strzałki (międzywęźla), silne pole elektryczne powodowało świecenie rurki. Drucik poprzeczny, przerzucony pomiędzy drutami, naogół zakłócał uporządkowane drgania układu; jedynie wtedy, gdy został umieszczony w węzłach fali stojącej, t. j. tam, gdzie pole pomiędzy drutami zanikało, umieszczenie drucika było bez wpływu na drganie układu i rurka nie przestawała świecić. Jeśli znajdziemy 2 takie miejsca, czyli dwa węzły, to odległość między nimi równa się połowie długości fali lub jej nieparzystej wielokrotności.

W świetle teorji Maxwell'a fale tworzą się w przestrzeni izolującej (powietrzu), pomiędzy drutami; druty służą niejako do wskazania drogi fali, która posuwa się wzdłuż przewodnika, ale nie biorą udziału we właściwem zjawisku rozchodzenia się zaburzeń elektromagnetycznych. Obecność drutów nie powinna więc wpływać na prędkość fali, czyli prędkość rozchodzenia się fali wzdłuż drutów powinna być taka sama, jak prędkość fali swobodnej.

Stwierdzili to Sarasin i de la Rive (1891), którzy mierzyli fale, pochodzące od tego samego oscylatora, raz wzdłuż drutów metodą Lechera, raz w wolnej przestrzeni metodą Hertza. Fale okazały się równe sobie co do długości, a więc i prędkości ich były równe.

Bezwzględną wartość prędkości fali swobodnej wyznaczył Blondlot (1891), mierząc długość fali sposobem Hertza, a częstość drgań obliczając zapomocą wzoru Thomsona (ob. str. 160) na podstawie zmierzonej pojemności i indukcji własnej układu. Znaleziona wartość wyniosła $c = 3{,}022.10^{10}$ cm./sek.

Trowbridge i Duane (1895) wyznaczyli w analogiczny sposób prędkość fali wzdłuż drutów i znaleźli $c = 3{,}003.10^{10}$ cm./sek. Obie wartości są dostatecznie bliskie siebie i bliskie prędkości światła (ob. str. 144).

Rezonator Hertza, używany jako detektor, czyli przyrząd, słu-

żący do wykazywania istnienia fal elektromagnetycznych, okazał się mało czułym, a przytem kłopotliwym. W r. 1890 Branly wprowadził w użycie koherer, oparty na zauważonem przez niego zjawisku: prąd, przechodzący przez opiłki metalowe, napotyka w nich opór, wytwarzany głównie przy przechodzeniu z jednego ziarna opiłek na drugie; pod wpływem fal elektromagnetycznych opór ten nagle maleje. Włączony w obwód łącznie z ogniwem i wskaźnikiem prądu, pozwala wykrywać i rejestrować nadbiegające fale.

W. Biernacki[1]) połączył koherer ze zwierciadłem parabolicznem Hertza i stworzył przyrząd, nadający się przedewszystkiem do demonstrowania fal elektrycznych i do przesyłania niemi sygnałów na niewielkie odległości.

Myśl zużytkowania fal do przesyłania wiadomości pierwszy urzeczywistnił włoch Guilelmo Marconi (ur. 1874), posługując się iskiernikiem Righi'ego i kohererem, lecz przystosowując do siebie wszystkie części aparatury, ulepszając je i uczulając, póki nie osiągnął możności przesyłania sygnałów na większe odległości. Pierwsze próby, przedsiębrane w Anglji w r. 1896, odbywały się na odległości stu yardów (90 m.); w r. 1897 osiągnięto 14 klm. — dziś sygnały elektromagnetyczne sięgają antypodów.

Ten wielki postęp techniczny wymagał wytężonej pracy wielu badaczy, techników i konstruktorów, wielkich wynalazków i drobnych ulepszeń. Nie mamy tu miejsca na pobieżne choćby zobrazowanie rozwoju radjotelegrafji, radjotelefonji i telewizji — odsyłamy ciekawego czytelnika do specjalnych podręczników (ob. str. 165). Ograniczymy się tylko do jednej uwagi: cały ten techniczny przewrót, przekształcający warunki naszego życia, opiera się na odkryciu, przedsięwziętem nie w celu praktycznego wyzyskania, lecz w imię żądzy prawdy i bezinteresownego umiłowania wiedzy. Bez cichej a mozolnej pracy genjalnych badaczy naukowych Faraday'a, Maxwella i Hertza nie byłoby dzisiejszych sposobów przesyłania sygnałów, dźwięków i obrazów, z których, słusznie zresztą, tak jesteśmy dumni.

---

[1]) Wiktor Biernacki (1863—1918), fizyk polski, wykładał fizykę w Politechnice w Warszawie w latach 1898—1914.

## TABLICA CHRONOLOGICZNA

**obejmująca daty urodzin i śmierci wybitnych badaczy zjawisk elektrycznych i magnetycznych.**

| | przed Chr. |
|---|---|
| Thales z Miletu | 640—550 |
| Empedokles | 494—434 |
| Platon | 427—347 |
| Teofrast z Lesbos | 372—287 |
| | po Chr. |
| Pliniusz Starszy | 23—79 |
| Izydor z Aleksandrji | 570—636 |
| Kolumb | 1451—1506 |
| Gilbert | 1540—1603 |
| Guericke | 1602—1686 |
| Boyle | 1626—1691 |
| Hawksbee | † 1713 |
| Gray | 1670—1736 |
| Musschenbroek | 1692—1761 |
| Dufay | 1698—1739 |
| Nollet | 1700—1770 |
| Franklin | 1706—1770 |
| Symmer | † 1763 |
| Aepinus | 1724—1809 |
| Cavendish | 1731—1810 |
| Coulomb | 1736—1806 |
| Kirwan | † 1812 |
| Galvani | 1737—1798 |
| Volta | 1745—1827 |
| Seebeck | 1770—1831 |
| Biot | 1774—1862 |
| Savart | 1791—1841 |
| Ampère | 1775—1836 |

| | po Chr. |
|---|---|
| Ritter | 1776—1810 |
| Oersted | 1777—1851 |
| Davy | 1778—1829 |
| Berzelius | 1779—1848 |
| Grotthus | 1785—1822 |
| Arago | 1786—1853 |
| Ohm | 1787—1854 |
| Becquerel A. | 1788—1878 |
| Faraday | 1791—1867 |
| de la Rive | 1801—1873 |
| Lenz | 1804—1865 |
| Helmholtz | 1821—1894 |
| Clausius | 1822—1888 |
| Kirchhoff | 1824—1887 |
| Thomson W. | 1824—1907 |
| Hittorf | 1824—1914 |
| Maxwell | 1831—1879 |
| Feddersen | 1832—1918 |
| Kohlrausch | 1840—1910 |
| Röntgen | 1845—1925 |
| Rowland | 1848—1906 |
| van t'Hoff | 1851—1911 |
| Lorentz | 1853—1928 |
| Ostwald | ur. 1853 |
| Hertz | 1857—1894 |
| Arrhenius | ur. 1859 |
| Biernacki | 1863—1918 |
| Mościcki | ur. 1867 |
| Langevin | ur. 1872 |
| Marconi | ur. 1874 |

# O P T Y K A

OPRACOWAŁ

S. ZIEMECKI

OPTYKA GEOMETRYCZNA. — BARWY. — TEORJE ŚWIATŁA. ETER. — KWANTY I FALE MATERJI. — OPTYKA CIAŁ W RUCHU BĘDĄCYCH. CIŚNIENIE ŚWIATŁA. TEORJA WZGLĘDNOŚCI. — WIDMO FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH.

## DZIAŁ I.

# OPTYKA GEOMETRYCZNA

Rozdział I.

## PROSTOLINJOWY BIEG, ODBICIE I ZAŁAMANIE ŚWIATŁA.

**UWAGI ogólne.** Wrażenia wzrokowe dają nam uczucie pełni życia, wiążą się też z licznemi przeżyciami estetycznemi, pozatem odgrywają rolę pierwszorzędną w poznaniu świata zewnętrznego. Działanie innych zmysłów sięga stosunkowo niedaleko; dopiero wzrok przenosi nas w przestrzenie międzyplanetarne i międzygwiazdowe, odrywając myśl od podłoża, z którem jesteśmy związani.

Należy ściśle odróżniać przeżycia subjektywne, wiążące się z doznawaniem wrażeń jasności i ciemności, barw różnych odcieni, od zjawisk objektywnych, które wywołują te wrażenia. Zjawiska świetlne nauczyliśmy się obecnie badać niezależnie od bezpośrednich wrażeń zmysłowych. Tak, naprzykład, czyste barwy spektralne moglibyśmy wyróżniać nie wzrokiem, lecz — prędkością elektronów, które wyzwalają promieniowania monochromatyczne, padając na metal komórki fotoelektrycznej; natężenie promieniowania potrafimy mierzyć objektywnie, stosując bądź wzmiankowaną wyżej komórkę fotoelektryczną, bądź — stos termoelektryczny.

Optyka [1]), jak pokazuje nazwa, była pierwotnie nauką o widzeniu. Z biegiem czasu stała się nauką o świetle; wiemy, wszakże, obecnie, że światło jest tylko pewnem szczególnem zjawiskiem w rozległej dziedzinie promieniowania elektromagnetycznego; należałoby zatem dział niniejszy nazwać „nauką o energji promienistej". Poprzestaniemy wszakże na nazwie historycznie utartej, nadając jej treść rozszerzoną, zgodną z dzisiejszym stanem wiedzy.

---

[1]) W języku greckim opsis oznacza widzenie, wzrok, twarz; przymiotnik optikos — dotyczący widzenia. Odróżnia się obecnie zazwyczaj optykę geometryczną, której głównem zadaniem jest stworzenie teorji instrumentów optycznych, i optykę fizyczną, obejmującą badania nad naturą światła i nad wzajemnem oddziaływaniem światła i materji.

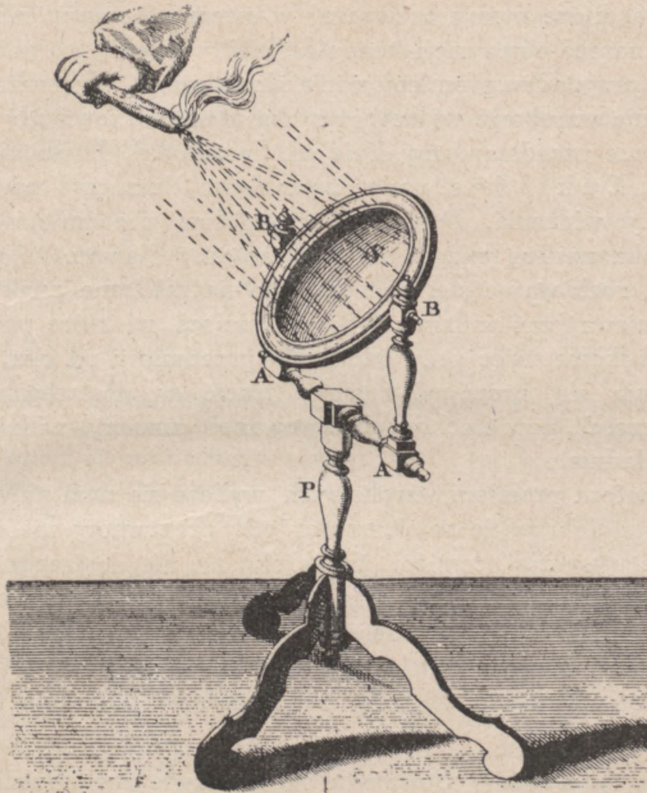
**Prostolinijny bieg światła. Zwierciadła.** Obserwowanie prostolinjowego biegu promieni świetlnych, gdy się one wdzierają do zamkniętego, ciemnego pomieszczenia przez szczeliny lub otwory, należy do nader częstych w życiu. Nic też dziwnego, że od czasów najbardziej zamierzchłych napotykamy w dziełach filozofów i uczonych twierdzenie o tem, że promienie światła biegną po linjach prostych. W Grecji starożytnej fakt ten znany był już Thalesowi z Miletu (637—548 przed N. Chr.), który się na nim opierał w swych rozważaniach w dziedzinie optyki. Euklides (ok. 300 lat przed N. Chr.) swobodnie posługiwał się już pojęciem promienia świetlnego, znał prawo równości kątów padania i odbicia, znał również fakt załamywania się światła, choć tylko — ze strony jakościowej. W cokolwiek późniejszym okresie czasu napisał Archimedes (287—212 przed N. Chr.) traktat o odbiciu światła p. t. „Katoptryka" [1]). Dzieło to zaginęło. Według źródeł, które się na nie powołują, zawierało ono dane o prawie odbicia, o działaniu zwierciadeł płaskich i wklęsłych, o załamaniu światła.

Powszechnie znane jest podanie o tem, że Archimedes miał spalić zapomocą zwierciadeł wklęsłych flotę nieprzyjacielską, oblegającą Syrakuzy. Podanie to nie zasługuje oczywiście na wiarę, gdyż trudno sobie wyobrazić, by flota rzymska czekała cierpliwie, póki uczony nie skupi promieni słonecznych w żądanem miejscu zapomocą swych zwierciadeł. Jest rzeczą prawdopodobną, że Archimedes demonstrował zapalanie różnych przedmiotów i tak oddziałał na wyobraźnię ogółu, że z biegiem czasu powstała legenda o spaleniu okrętów. W nowszych czasach Buffon (w. XVIII) skonstruował wielkie zwierciadło wklęsłe, a właściwie wielościenne, gdyż składało sę ono z 68 zwierciadeł płaskich, swobodnie ruchomych. Ustawiając odpowiednio te części płaskie, można było skupiać światło słoneczne w różnych punktach; Buffon zapalał swojem zwiercadłem drzewo świeże w odległości 65 metrów, a w odległości $14^1/_2$ metra topił metale takie, jak ołów, miedź. Na rys. 37, wziętym z traktatu fizyki z przed 200-stu lat, pokazane jest zapalanie świecy zapomocą stosunkowo niewielkiego zwierciadła wklęsłego.

---

[1]) Katoptryką nazywano dawniej dział fizyki, rozpatrujący odbicie światła, dioptryką — dział, omawiający załamanie. Odpowiednio do tych nazw, zaczerpniętych z języka greckiego, odróżniamy narzędzia katoptryczne i dioptryczne.

**Promienie wzrokowe.** Widzimy więc, że Grecy starożytni mieli dość rozległe wiadomości z dziedziny optyki geometrycznej. Tem dziwniejsze wydają się nam dziś ich zgoła błędne pojęcia o widzeniu przedmiotów. Przeważna część autorów greckich wyobrażała sobie, że oko wysyła rodzaj promieni, emanacyj jakichś, i że widze-




Rys. 37.
Zapalanie świecy zapomocą zwierciadła wklęsłego.

nie związane jest z istnieniem tych promieni wzrokowych. Być może, iż dla niektórych uczonych promienie, wybiegające z oka, stanowiły tylko czysto formalny środek pomocniczy w rozumowaniach. Wszak i dziś, w rozważaniu zagadnień perspektywy, najdogodniej jest kreślić promienie, wychodzące z oka. Nie ulega jednak wątpliwości, że nader znaczna część dawnych pisarzy traktowała promienie wzrokowe jako coś zupełnie realnego; dowody tego spotykamy w licznych

tekstach; zresztą wynika taki sposób pojmowania rzeczy pośrednio i stąd, że słynny uczony arabski z dziesiątego wieku po Chrystusie Ibn Al Haitam (965—1039), znany też pod nazwiskiem Alhazena, uważał za konieczne zwalczać mylny, zdaniem jego, pogląd o wysyłaniu promieni przez oko człowieka. Na usprawiedliwienie starożytnych można by przytoczyć okoliczność, że emisja promieni przez ciała, które mamy zazwyczaj w swem otoczeniu, nie narzuca się nigdy naszej obserwacji bezpośredniej w sposób równie oczywisty, jak w przypadku promieniowania słonecznego. Wyobrażano sobie, że promienie wzrokowe wybiegają z oka w sposób nieciągły (tak, jak sobie obecnie przedstawiamy linje sił Faraday'a). Posługując się tą koncepcją, Euklides nader pomysłowo tłumaczył pewne fakty z dziedziny widzenia. Drobnych szczegółów, przedmiotów oddalonych od oka według niego nie dostrzegamy dlatego, że promienie wzrokowe, rozbiegając się, padają tylko na nieliczne punkty przedmiotu; ponieważ zaś widzimy tylko te miejsca, na które padają promienie wzrokowe, więc przy oddalaniu przedmiotu od oka, w miarę rozchodzenia się promieni, musimy tracić w dostrzeganiu coraz większe części powierzchni obserwowanej, musimy widzieć coraz mniej dokładnie.

Dziś hipoteza promieni wzrokowych wydaje się nam naiwną. Wiemy przecież dobrze, że w ciemności, gdy przedmioty nie są oświetlone i nie wysyłają promieni, żadne oko nic nie dostrzega. Prawda, że oczy niektórych zwierząt, szczególnie kotów, świecą w ciemności. Zostało jednak doświadczalnie stwierdzone, że świecenie oczu wynika z odbicia *obcego światła* na dnie oka od warstwy zwanej „tapetum", posiadającej szczególnie dużą zdolność odbijania światła.

**Załamanie światła.** Starożytni niewątpliwie posługiwali się, nielicznemi zresztą, narzędziami optycznemi, między innemi, — soczewkami. Świadczą o tem wykopaliska. Między innemi np. w Niniwie [1]) znalezioną soczewkę z kryształu górskiego grubości około 5 mm, posiadającą odległość ogniskową ok. 10,7 cm. Zastosowanie załamania wyprzedziło zatem znacznie znajomość teoretyczną praw tego zjawiska. Mówiliśmy już o tem, że sam fakt załamywania się światła znany był tak Euklidesowi, jak i Archimedesowi. Najszczegółowsze badanie eksperymentalne nad załamaniem prze-

[1]) Niniwa, starożytna stolica państwa Asyryjskiego, została zniszczona w r. 612 przed Chrystusem.

prowadził w starożytności Klaudjusz Ptolemeusz[1]) (Claudius Ptolemaios, 87—165 po N. Chr.; dawne źródła polskie nazywają go często Ptolomeuszem). Badał on załamanie światła w następujących parach ośrodków: powietrze - szkło, powietrze - woda, szkło - woda. W wielu podręcznikach znajdujemy wzmiankę o tem, że Ptolemeusz mniemał, iż stosunek kąta padania do kąta załamania jest wielkością stałą. Jednak dzieło oryginalne nie zawiera tego błędnego (o ile nie chodzi o małe kąty) twierdzenia. Prawa załamania światła nie zdołał Ptolemeusz ująć w formę matematyczną. Wykrył jednak istnienie całkowitego odbicia wewnętrznego i kąta granicznego.

**Ciemnia optyczna.** Wieki średnie mało dodały do zdobyczy czasów starożytnych. Na podkreślenie zasługuje wynalezienie ciemni optycznej (łac. camera obscura) przez Rogera Bacon'a [2]). Cie-

[1]) Ptolemeusz Klaudjusz, matematyk, astronom, geograf zamieszkiwał w II-gim wieku po Nar. Chr. Aleksandrję. Zjednał sobie sławę poprawieniem spisu gwiazd stałych Hipparcha, tudzież ułożeniem tablic, według których można było obliczać bieg słońca, księżyca i planet. Wynalazł narzędzie do wymierzenia pozornej średnicy słońca i księżyca.

Spostrzeżenia dawniejsze i własne zebrał w systemat, który nosi nazwę Ptolemeuszowego, i ogłosił go w dziele, zwanem „Syntaxis mathematica". Dzieło to około r. 827 zostało przełożone na język arabski. Przekład znany jest pod nazwą „Almagestu". Ten przekład był wielokrotnie tłumaczony na jęyk łaciński. Drugiem nie mniej ważnem i sławnem dziełem Ptolomeusza była jego „Geografja". Położenie krajów zostało tu po raz pierwszy ściśle wyznaczone zapomocą szerokości i długości geograficznej.

[2]) Roger Bacon (1214—1294), mnich angielski o przydomku „doctor mirabilis", potęgą genjuszu swego wzniósł się wysoko ponad epokę współczesną. Nauki pobierał w Oksfordzie, a następnie — w Paryżu. Z pomiędzy dzieł Bacona najsłynniejszem było „Opus majus", księga o charakterze encyklopedycznym. Niezależnością swych poglądów, ostrą krytyką zakonów naraził się Roger Bacon franciszkanom, do których sam należał. Nietrudno było go oskarżyć o herezję i czary, tembardziej, że zajmował się badaniami przyrodniczemi, dla szerokiego ogółu niepojętemi i tajemniczemi. Protektorem Bacona, jeszcze przed swym wyborem, był papież Klemens IV, któremu Bacon pod wieloma względami dużo zawdzięczał. Po śmierci papieża uwięziono Bacona; w więzieniu przebył on lat kilkanaście (1277 — 1292). Z napomknień w dziełach Bacona znać, że widział on jasno możność dokonania mnóstwa wynalazków, że rozumiał zasadę urządzenia lunet, balonów, motorów parowych. W jego „Opus majus" została, między innemi, opisana ciemnia optyczna.

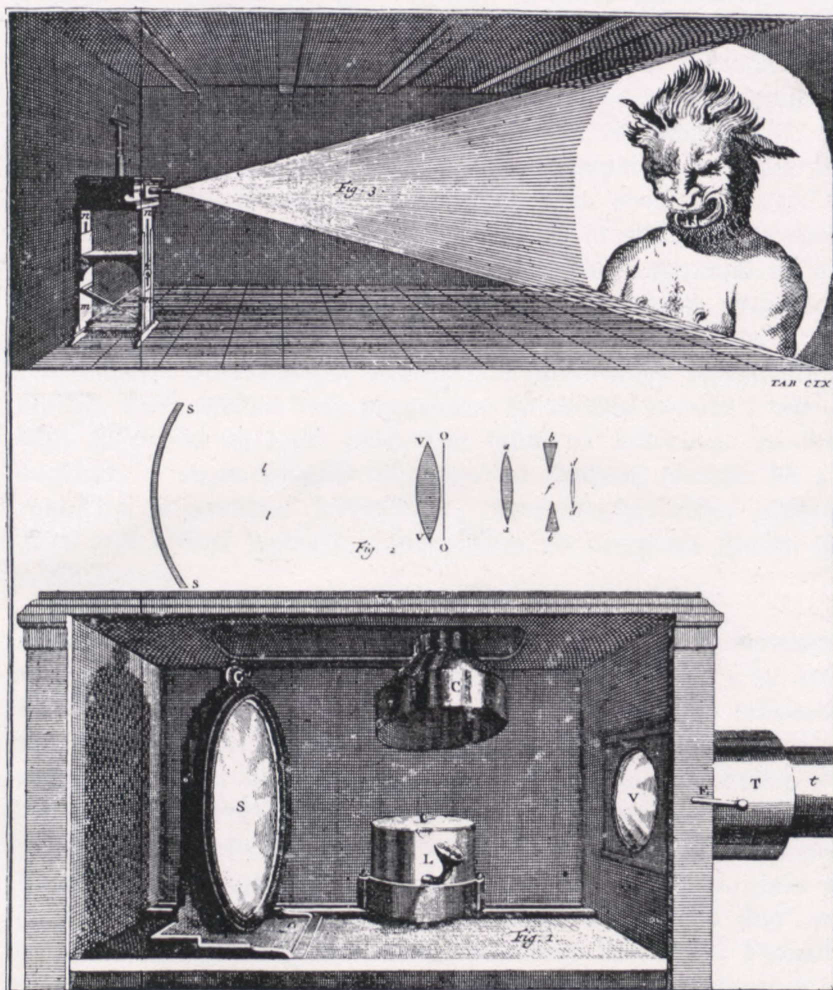
Od Rogera Bacona należy odróżniać Francis'a Bacona z Verulamu (1561—1626), którego główne dzieła noszą tytuły „De dignitate et augementis scientiarum" i „Novum organon scientiarum". Bacon Verulamski był

mnia została udoskonalona przez włocha G i a m b a t i s t a d e l l a P o r t a (1538 — 1615), który w powiększonym otworze ciemni umieścił soczewkę i dzięki temu przy dobrej ostrości obrazów zyskał niezmiernie na natężeniu światła. Obecny nasz aparat fotograficzny jest w zasadzie ciemnią optyczną. Ciemnię opisał P o r t a w swem dziele, które nosi tytuł „Magia naturalis". Tytuł doskonale charakteryzuje treść tego traktatu, który jak wszystkie wogóle dzieła średniowieczne, zawierał mieszaninę wiadomości ściśle naukowych z przepisami praktycznemi i różnemi zgoła bezkrytycznemi danemi, opartemi częstokroć na przesądach, zabobonach. Oto kilka nagłówków rozdziałów, z których czytelnik może wnioskować o treści: „de mirabilium rerum causis; de variis animalibus gignendis; de gemmarum adulteriis; de mulierum cosmetice; de extrahendis rerum essentiis; de catoptricis imaginibus".

**Latarnia czarnoksięska.** P o r t a również skonstruował pierwszą latarnię projekcyjną, w rodzaju tych, jakich obecnie używamy do rzucania na ekran przezroczy. Nazwano ją potem, zgodnie zresztą z ogólną tendencją do otaczania tajemniczością doświadczeń optycznych, latarnią czarnoksięską (laterna magica). Nazwy takie są u autorów średniowiecza psychologicznie zupełnie usprawiedliwione. Pamiętajmy o tem, że dziś, w wielkiem mieście, każde dziecko zapoznaje się bezpośrednio z optyką soczewek choćby w kinematografie. Inaczej było dawniej, — nawet przed laty kilkudziesięciu. Na człowieka, nie znającego użycia soczewek, widok obrazu świata zewnętrznego, otrzymanego zapomocą szkiełka przezroczystego, działa niemal

---

wybitnym mężem stanu, przez czas pewien — wielkim kanclerzem. Oskarżony o przekupstwo i skazany przez sąd, stracił stanowisko i znaczenie; proces jednak niewątpliwie był prowadzony tendencyjnie w związku z intrygami politycznemi. W dziełach swych podnosił F r a n c i s B a c o n doniosłość badania natury drogą obserwacji i eksperymentu i wykazywał bezsilność średniowiecznej metody dialektyczno-logicznej. B a c o n starał się ująć badania eksperymentalne w ścisłe przepisy, stworzyć metodykę nauk doświadczalnych. Głębszego znaczenia praktycznego nie miały nigdy metodyczne reguły Bacona; podobnie w dziedzinie twórczości artystycznej nigdy prawidła narzucone nie stworzyły wielkich dzieł. Swemi własnemi badaniami nie przyczynił się B a c o n V e r u l a m s k i w żadnym stopniu do rozwoju nauk przyrodniczych. Przyznać trzeba jednak, że miał pewne dobre projekty prac eksperymentalnych. Pisał, naprzykład: „Brak, zdaniem mojem, badań nad istotą i pochodzeniem światła"... „Co dotyczy nie wytwarzania, lecz *rozchodzenia* się światła, mniemam, że najbardziej podobnem jest rozchodzenie się głosu. Należy zbadać dokładnie, w czem się te zjawiska zgadzają, a czem się różnią od siebie".




Rys. 38.
Latarnia czarnoksięska według dzieła S'Gravesande'a z r. 1746.

wstrząsająco. Chętnie widzi się w tem zjawisku niezwykły tajnik natury. Pamiętajmy i o tem, że w Wiekach Średnich uczeni, naogół, nie byli skłonni do dokładnego opisywania badanych zjawisk i przyrządów używanych do tych badań. Istniała uzasadniona zupełnie obawa posądzenia o czary. Dość przypomnieć przecież smutny los Rogera Bacona, De Dominis'a. To też dokładny opis latarni czarnoksięskiej spotykamy stosunkowo późno, bo dopiero w roku 1671 w książce jezuity A. Kirchera. Na tabl. I (rys. 38) dajemy rysunki latarni czarnoksięskiej, zaczerpnięte z dzieła S'Gravesande'a, wydanego w wieku XVIII-tym. Środkową część tablicy zajmuje schemat urządzenia latarni, który tu w krótkości omówimy. Postać, której obraz rzucano na białą ścianę, rysowano na cienkiej szybce i umieszczano w pozycji *OO*, bezpośrednio za soczewką zbierającą *VV*, która skupiała światło lampy (*l* na schemacie, *L* na figurze dolnej). Do skupiania światła służyło również zwierciadło wklęsłe *SS*, które można było przysuwać do źródła światła i odeń odsuwać. Soczewki *aa* i *dd* (widoczne tylko na schemacie środkowym) tworzyły w swym zespole objektyw do rzucania obrazu; *bb* z otworem *f* był to pierścień drewniany, grający rolę przesłony (diafragmy). W *C* był rodzaj wyciągu z kominkiem do usuwania gazów spalinowych lampy.

**Vitello.** Jednym z najwybitniejszych autorów średniowiecznych wieku XIII-go, piszących o optyce, był Polak Ciołek, który po łacinie podpisywał się jako Vitello (w niektórych źródłach spotykamy nazwisko Vitellio). Ojciec Ciołka przywędrował z Turyngji za czasów Bolesława Wstydliwego, matka była Polką. On sam uważał się za Polaka, o czem świadczy następujący ustęp[1]) z jego „Optyki", zawarty w rozdziale o tęczy: „In terra nostre Polonie circa elevationem quinquaginta graduum". We Florencji znajduje się jego rękopis z napisem Vitellionis Poloni. Vitello był wielkim erudytą. Korzystał ze spuścizny naukowej Euklidesa, Ptolemeusza, Apollonjusza, Teodozjusza i innych. Zdaje się, że własnych, samodzielnych wyników miał niewiele. Wiadomo, że wykonywał doświadczenia optyczne przy mogile Krakusa na górze Lasota. Lud miał go za czarnoksiężnika. Być może, iż podanie o Twardowskim wiąże się z jego osobą. „Optyka" Vitellona w dziesięciu księgach była

---

[1]) Cytujemy z zachowaniem pisowni za artykułem M. Wiszniewskiego, umieszczonym w tomie V-tym pierwszego wydania Encyklopedji Powszechnej Orgelbranda.

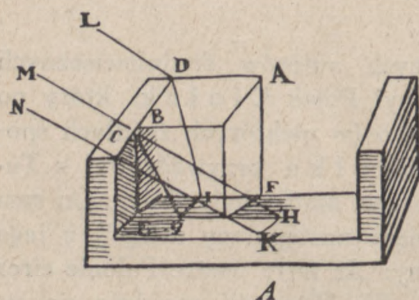
napisana około roku 1277, a wydrukowana w r. 1535. Dzieło to niewątpliwie cieszyło się wielką powagą i powodzeniem, czego dowodem, iż Kepler jeden z ważniejszych swych traktatów o optyce nazwał „Ad Vitellonem Paralipomena".

**Kepler.** Działalność Keplera (1571 — 1630) przypada już na początek epoki Odrodzenia. Zasługi Keplera w dziedzinie astronomji znane są powszechnie. O optyce pisał Kepler w dwu dziełach: „Ad Vitellonem Paralipomena" (1604 r.) i „Dioptrice" (r. 1611). Prócz rzeczy już znanych, zawierają dzieła Keplera nowe dane, dotyczące otrzymywania obrazów zapomocą zwierciadeł wklęsłych, badań nad załamaniem światła, dalej — teorję widzenia, poprawnie wyjaśniającą zjawiska, wreszcie—obliczenia i wskazówki w sprawie konstrukcji lunet, składających się tylko z soczewek zbierających. Lunety tego typu nazwano Keplerowskiemi.

Kepler bliski był odkrycia prawdziwej postaci prawa załamania światła:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = const,$$

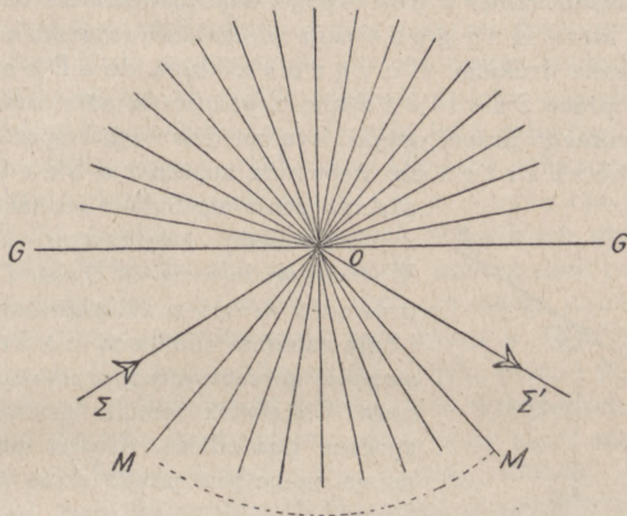
nie wpadł jednak na myśl użycia właściwej funkcji matematycznej. W bardzo pomysłowy sposób mierzył on kąty padania i załamania. Jeden ze stosowanych przezeń sposobów ilustruje rys. 39. Wewnątrz odwróconej ławeczki drewnianej umieszczony jest sześcian szklany *ABEF*. Światło słoneczne, padające na krawędź ławeczki, częściowo łamie się w sześcianie, znacząc swój bieg linją *IG*, częściowo zaś biegnie bez załamania, wytwarzając na dnie podstawki ślad *KH*. Z wymiarów przyrządu można wówczas łatwo wymierzyć kąty padania i załamania, biorąc stosunek odpowiednich boków w trójkątach.



Rys. 39.
Przyrząd Keplera do pomiarów załamania światła.

Niezmiernie poglądowo umiał przedstawić ten wielki astronom istnienie kąta granicznego i całkowitego odbicia wewnętrznego. Rysuje on promienie, przechodzące z powietrza do szkła (rys. 40). *GG* na rysunku oznacza płaszczyznę, oddzielającą obydwa ośrodki. Każdemu promieniowi, biegnącemu w powietrzu do punktu *O*, odpowiada ści-

śle określony promień załamany. Promieniom *GO*, przebiegającym stycznie, odpowiadają w szkle promienie *OM*, tworzące z normalną kąty równe 42°. Opierając na wprowadzonem do optyki przez Alhazena prawie odwracalności biegu promieni świetlnych, dostrzegamy odrazu, że promienie, biegnące w szkle w obrębie kąta



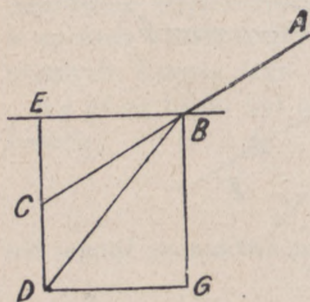

Rys. 40.
Kąt graniczny i całkowite odbicia wewnętrzne według Keplera.

*MOM*, przechodząc w powietrze, wypełniają kąt półpełny górny. Jakiż będzie bieg promieni takich, jak Σ *O*, które wychodzą poza obręb kąta *MOM*. Nie mają one odpowiadających im promieni w ośrodku górnym. Kepler wnioskuje stąd, zbyt pośpiesznie może, iż muszą one ulec odbiciu, jak to pokazuje rysunek. Taki bieg ich istotnie obserwujemy; niema w tem, oczywiście, konieczności logicznej. Z rozważań ogólnych widać jednak bezpośrednio, że promienie, niezawarte w ośrodku optycznie gęstszym w obrębie kąta *MOM*, nie mogą podlegać prawu zwykłego załamania.

**Prawo załamania światła.** Prawo załamania światła, głoszące o tem, że $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = const$, zostało po raz pierwszy podane drukiem do wiadomości publicznej przez Descartes'a[1]), który też zasto-

[1]) P. życiorys w t. I-szym.

sował to prawo w wielu konkretnych przypadkach zjawisk optycznych. Przez ciąg stuleci prawo to nazywano prawem Descartes'a. Dopiero w nowszych czasach przemianowano je na prawo Snella; oparto się przytem na oświadczeniu Huygensa, iż holender Willebrord Snellius (1591—1626) prawo to odkrył na drodze doświadczalnej i treść swego odkrycia zawarł w rozprawie optycznej, którą Huygens sam widział, która jednak nigdy nie była ogłaszana drukiem. Huygens zakłada, że i Descartes przeglądał pracę Snella i z niej zapoznał się ze sformułowaniem tego zasadniczego prawa optyki. Trudno dziś ocenić sprawę całkiem słusznie. Descartes nie wspomina zupełnie o Snellu; takie przemilczenie nie byłoby jednak sprzeczne z ówczesnemi zwyczajami naukowemi. Ważnem wydaje się, iż Descartes wyprowadza prawo z założeń teoretycznych i daje zupełnie odmienną, niż Snell, konstrukcję geometryczną promienia załamanego. Cokolwiek jednak możnaby o tej sprawie powiedzieć, obecnie prawo załamania znane jest powszechnie jako prawo Snell'a.



Rys. 41.
Snella metoda mierzenia spółczynnika załamania.

Snell odkrył prawo drogą nader prostych a pomysłowych doświadczeń. Niewielki przedmiot znajdował się w naczyniu napełnionem wodą w $D$ (p. rys. 41). Wskutek załamania promieni, wychodzących z wody, oko umieszczone z boku dostrzega obraz punktu $D$ w $C$. Okazuje się z doświadczeń, że stosunek $BD$ do $BC$ jest wielkością stałą. Prowadząc kilka linij pomocniczych, czytelnik łatwo zauważy, że

$$\frac{BD}{BC} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

Doświadczenia Snella prowadziły zatem do prawa załamania.

Wykrycie prawa wstaw (sinusów) stanowiło epokę w rozwoju optyki. Z jednej strony opanowanie matematycznej strony zjawiska pozwoliło rozwinąć teorję narzędzi optycznych, dzięki której oko ludzkie, zbrojne w doskonałe teleskopy i mikroskopy, mogło sięgnąć daleko poza granice, które mu zakreśliła jego budowa naturalna, z drugiej strony prawo załamania pozwoliło lepiej zrozumieć istotę samego światła. Zastanawia jednak, że zjawisko, znane w głębokiej

starożytności, dopiero w XVII-tem stuleciu po Chrystusie zostało ujęte w formę matematyczną. Zaiste, poznanie praw natury nie jest rzeczą łatwą!

**Soczewki.** Na prawie Snella opiera się teorja soczewek, a więc i — narzędzi optycznych takich, jak luneta, mikroskop, aparat fotograficzny. Wielkie postępy w opanowaniu teoretycznem biegu promieni, osiągnęte w wieku XIX, doprowadziły do ogromnego wydoskonalenia instrumentów optycznych. Zgoła błędnem byłoby jednak mniemanie, że znajomość praw załamania światła była pobudką do wynalazków w dziedzinie optyki praktycznej. Okulary, teleskopy i mikroskopy zostały wykryte przed Snellem i Kartezjuszem. Odkrycie ich było wynikiem przypadkowych pomyślnych prób, podejmowanych w przeświadczeniu, że soczewki, umieszczone jedna za drugą, będą się wspierać wzajemnie w skutkach swego działania.

Same soczewki, jakeśmy wspominali, były znane w głębokiej starożytności, o czem świadczą wykopaliska. Tych, którzy się zapatrują sceptycznie na autentyczność przedmiotów wykopanych, uspokoi fakt, że i w literaturze starożytnej spotykamy jasne wzmianki o użyciu soczewek. Tak w komedji Arystofanesa „Obłoki" (r. 423 przed Nar. Chr.) mówi Strepsiades do Sokratesa o pozbyciu się wierzyciela zapomocą szkła, zbierającego promienie: dłużnik ma niepostrzeżenie skupić światło słoneczne na zobowiązaniu [1]) i roztopić w ten sposób dokument. Plinjusz (23—79 po Nar. Chr.) wie o tem, że kula szklana, wystawiona na działanie słońca, może zapalać różne przedmioty oraz wypalać rany.

Okulary wynaleziono, zdaje się, w końcu wieku XIII-go po Chr.; świadczy o tem napis na jednym z grobowców we Florencji, który to napis przypisuje wynalazek zmarłemu w r. 1317 Salvino degli Armati. W każdym razie spotyka się ludzi, posiadających okulary, już na obrazach z wieku XIV i XV-go.

**Mikroskopy i lunety.** Konstrukcję pierwszego mikroskopu i pierwszej lunety astronomicznej przypisywano różnym osobom; w świetle badań krytycznych żadna z wersyj nie ostała się, i dziś nie możemy wskazać nikogo, ktoby mógł uchodzić za prawdziwego wynalazcę. Pewnem jest wszakże, iż w końcu wieku XVI-go mikroskopy i lunety były już znane; między innemi, budowano je w Holandji. Z listu

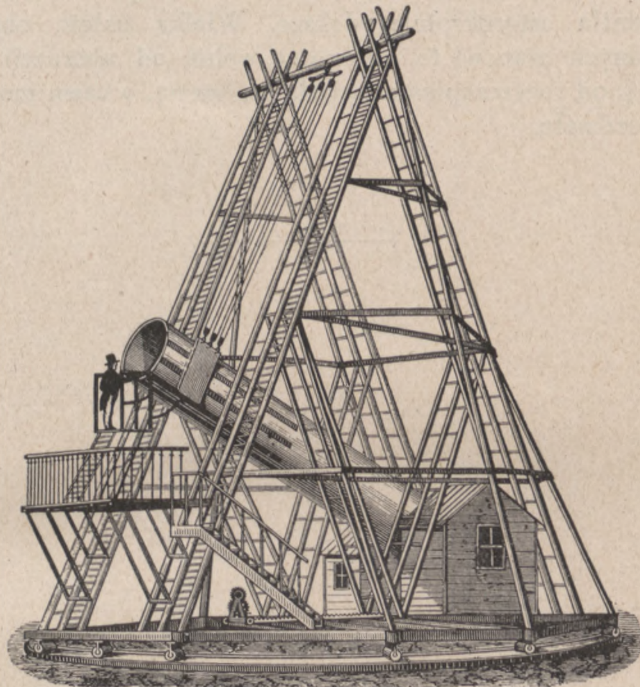
[1]) Grecy kreślili litery rylcem na tablicach, pokrytych woskiem.

ucznia swego dowiedział się o lunetach holenderskich Galileusz. Genjalny badacz, na podstawie krótkiego opisu, domyślił się urządzenia optycznego i sam skonstruował przyrząd, składający się ze szkła zbierającego i rozpraszającego; opisał go w roku 1610. Zapomocą narzędzia swego dokonał Galileusz szeregu ważnych odkryć astronomicznych, jak to: obserwował góry i doliny księżyca, wykrył plamy na słońcu i ruch słońca koło osi, stwierdził, że analogicznie do faz księżyca naszego istnieją też fazy Wenery; odkrył księżyce Jowisza, wykrył nowe gwiazdy na drodze mlecznej. Odkrycia, dotyczące układu planetarnego, umocniły Galileusza w przeświadczeniu o słuszności teorji Kopernika; przyjęte były z entuzjazmem przez świat tych uczonych, którzy źródło postępu nauki widzieli w swobodnem, niczem nieskrępowanem badaniu zjawisk natury, a nie w jałowem komentowaniu pism dawnych filozofów. Przeciwieństwo pomiędzy tendencjami obydwu obozów uwydatnia doskonale poniższy wyjątek z listu Galileusza do Keplera: „Co powiesz o pierwszych uczonych tutejszego fakultetu? Samorzutnie po tysiąc razy proponowałem im zaznajomienie się z mojemi pracami, a oni z upartą obojętnością najedzonego dosyta węża nigdy nie chcieli obejrzeć ani planet, ani księżyca, ani lunety. Ci ludzie myślą, że nauka to ta lub inna księga, jak Eneida lub Odyssea, i że prawdy nie trzeba szukać w przestworzach lub w naturze, lecz (używam ich własnych słów) — w porównywaniu tekstów".

Wielkie odkrycia astronomów Galileusza, Huygensa, Cassiniego i biologów Leeuwenhoek'a, Swammerdama wzbudziły zainteresowanie mikroskopem i lunetą i skłoniły do dalszych badań tak eksperymentalnych, jak i teoretycznych, które miały na celu wyjaśnienie ich działania i ulepszenie konstrukcji. Zrazu (Kepler, Huygens) w dociekaniach nad własnościami soczewek i zwierciadeł posługiwano się głównie metodami geometrycznemi. Dopiero w roku 1693 zwrócił uwagę E. Halley na dogodność rozważań algebraicznych, które przy uwzględnieniu znaków dają możność ujęcia w jeden wzór wszelkich własności układu optycznego. Wzory soczewek i zwierciadeł, które obecnie stosujemy, zostały wyprowadzone w pierwszej połowie XVIII-go stulecia.

**Teleskopy katoptryczne.** Nadmienimy wreszcie, że w badaniach astronomicznych od czasów Newtona z powodzeniem stosuje się obok soczewek również i zwierciadła wklęsłe. Zwierciadło gra rolę objektywu, skupiając w ognisku swem promienie, biegnące z nie-

skończoności. Na rysunku 42 przedstawiony jest wielki teleskop zwierciadlany skonstruowany przez W. Herschla[1]), który stanowił jeden z dziwów XVIII-go stulecia. Odległość ogniskowa tego



Rys. 42.
Wielki teleskop W. Herschla o odległości ogniskowej = 12 metrom.

teleskopu wynosiła ok. 12 metrów. W roku 1928 największym teleskopem na kuli ziemskiej był teleskop zwierciadlany w obserwator-

---

[1]) Podamy krótką wzmiankę biograficzną o tym badaczu. którego koleje życia były zgoła niepowszednie. Wilhelm (w angielskich źródłach — William) Herschel (1738—1822) urodził się w Hannowerze, gdzie ojciec jego był muzykiem wojskowym. Syn odziedziczył zawód po ojcu. Mając lat 17, jako główny oboista gwardji hannowerskiej, udał się ze swym pułkiem do Anglji; Hannower związany był wówczas z Anglją unją personalną. W kilka lat później porzucił służbę wojskową, przyjął stanowisko organisty w Halifax, a potem — w Bath; tu udzielał również lekcyj muzyki. Choć jego działalność muzyczna zajmowała mu nieraz po 14 godzin na dobę, studjował matematykę, optykę, astronomję. Po śmierci ojca wziął do siebie dwoje młodszych rodzeństwa: brata Aleksandra, który był mechanikiem, i siostrę Karolinę. Brat miał mu pomagać

jum na Mount Wilson (w pobliżu Pasadeny w Kalifornji). Waży on 100 tonn, ma zwierciadło o średnicy 255 cm. i odległość ogniskową $= 12.9$ metra. Projektowana jest budowa teleskopu o średnicy dwukrotnie większej, niż na Mount Wilson. Teleskop taki dawałby natężenie światła czterokrotnie większe. Wielką zaletę objektywów zwierciadlanych stanowi to, że są one wolne od aberracji chromatycznej, t. j. od rozszczepiania światła na barwy, o czem mowa w następnym rozdziale.

---

w szlifowaniu zwierciadeł teleskopów, a siostra — w obserwacjach astronomicznych. Herschel tak się, bowiem, zapalił do astronomji, że postanowił za wszelką cenę samodzielnie obserwować gwiazdy. Pierwszy teleskop, zbudowany w r. 1774, miał odległości ogniskowej przeszło 1,6 metra. Gdy się ta próba powiodła, podejmowano budowę coraz większych narzędzi aż do teleskopu, którego odległość ogniskowa wynosiła ok. 6 metrów. Herschel dni spędzał na szlifowaniu zwierciadeł, wieczory poświęcał swej działalności muzycznej, a w nocy obserwował. Niesłychana pracowitość i wytrwałość Herschla zostały uwieńczone powodzeniem: 13-go marca 1781 roku odkrywa on nową planetę, Urana, i w ten sposób zdobywa sobie sławę. Król Jerzy sprowadza go do Greenwich i do Windsoru i dostarcza mu środków na zbudowanie wielkiego teleskopu, który został przedstawiony na rys. 42. W drugiej połowie życia swojego, rozporządzając znacznemi środkami, dokonał Herschel szeregu ważnych odkryć, tak w dziedzinie naszego układu planetarnego, jak i w dziedzinie astronomji gwiazd stałych. Wybitne miejsce w nauce zajęła też i siostra jego Karolina; odkryła ona, między innemi, osiem komet.

## DZIAŁ II.

# BARWY

## Rozdział II.

## OGÓLNY ZARYS.

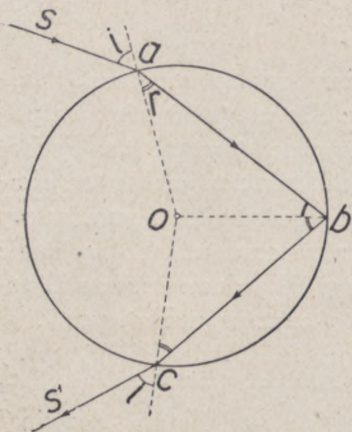
HARMONJĘ barw, wytwarzanych przez światło słoneczne, najdawniej chyba obserwowano w tęczy. Nie ulega również wątpliwości, że dawno znane były barwy pryzmatyczne, gdyż tak na Wschodzie, jak i w Europie, używano często szkieł kanciastych, które ukazywały piękne obwódki tęczowe, gdy przez nie oglądano przedmioty otaczające. Pochodzenie tęczy już w Średniowieczu umiano wyjaśnić ogólnikowe. Ścisłą teorję tego zjawiska rozwinął jednak dopiero Descartes. Był to jeden z większych jego czynów naukowych.

W wieku XIII Polak Vitello (p. str. 195) twierdził, że przy powstawaniu tęczy promienie słoneczne doznają w kroplach wody nie tylko odbicia lecz i załamania. Idee Vitellona rozwinął Marcus Antonius de Dominis[1]), który doświadczalnie wykazał powstawanie barw, gdy światło padało na kulę szklaną napełnioną wodą. Część promieni, ulegając odbiciu (p. rys. 43), wracała w stronę źródła światła, doznając przytem odchylenia od kierunku pierwotnego. Descartes doświadczenia Dominisa zmodyfikował, uzupełnił, a prócz tego ujął zjawiska w formę matematyczną, pozwalającą ściśle przewidzieć kąty, pod któremi ukazuje się tęcza. Z doświadczeń swych wysnuł Descartes wniosek, że oprócz tęczy głównej nazewnątrz niej pod określonym również kątem musi powstawać tęcza dodatkowa, którą wytwarzają promienie dwukrotnie odbite (p. rys. 44) wewnątrz kropli wody. Kartezjusza teorję dobrze ilustruje rys. 45a. Na rysunku tym promienie słoneczne *AB*, *ab*, *DE* i *de* padają równolegle na krople wody w chmurze; *AB* i *ab* dochodzą do oka obserwatora *O*, ulegając w kroplach dwukrotnemu załamaniu i dwukrotnemu odbicu, zaś *DE* i *de* załamują się również dwukrotnie, lecz odbijają tylko raz jeden. Wewnętrzna tęcza jest tęczą główną, silniejszą, gdyż odbiciu ulega tylko nieznaczna część promieni; tym sposobem, im więcej odbić, tem zjawisko — słabsze.

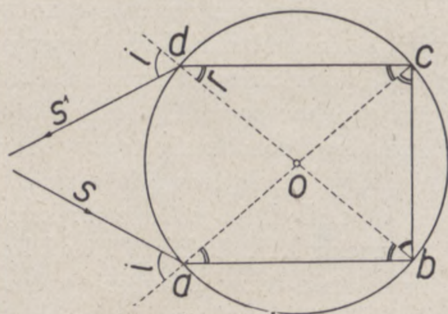
---

[1]) Zmarł w r. 1624 w więzieniu inkwizycyjnem.

W tęczy głównej barwy idą od środka nazewnątrz w porządku następującym: fiolet, zielona, czerwień; porządek barw w tęczy dodatkowej jest odwrotny. Descartes wytłumaczył geometryczną stronę zjawiska; był jednak bezsilny w wyjaśnieniu ukazywania się barw. Dopiero Newton mógł to uczynić, stworzywszy ogólną teorję barw.



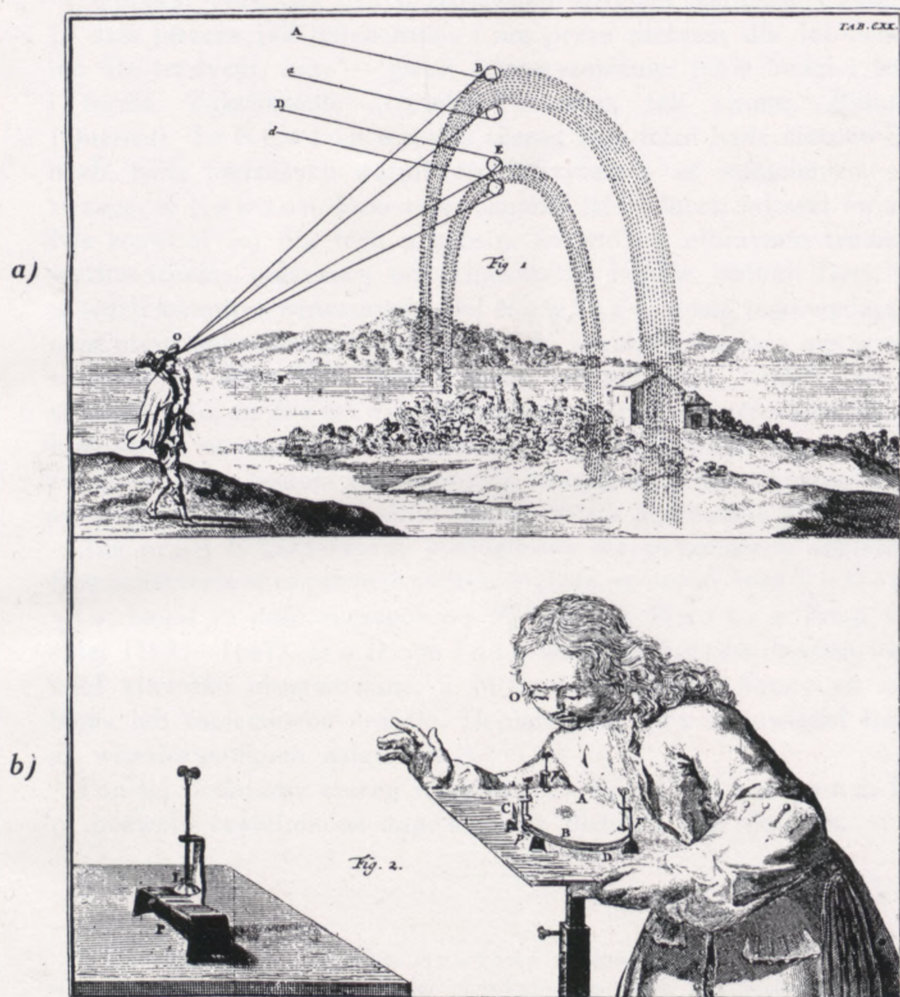

Rys. 43.
Załamanie i odbicie światła w kropli wody.




Rys. 44.
Załamanie i dwukrotne odbicie światła w kropli wody.

Poglądy uczonych starożytnych na powstawanie barw uderzały swą niejasnością, sztucznością. Arystoteles twierdził, że barwa powstaje wtedy, gdy się do światła dołącza ciemność. Tak więc barwy tęczy miały powstawać wkutek tego, że się w chmurze ze światłem słońca sumuje ciemność kropel. Teorja ta, rozumie się, nie była w stanie nic wytłumaczyć, nic przepowiedzieć. Powstały też przed Newtonem i inne teorje, np. teorje chemiczne; ujmowały one jednak zagadnienie równie mętnie, jak i teorja Arystotelesa.

Do badań nad pochodzeniem i naturą barw skłoniły Newtona prawdopodobnie względy praktyczne: chęć poznania przyczyny szkodliwych dla jasności widzenia obwódek barwnych, które wytwarzały teleskopy dioptryczne, i dążenie do usunięcia tej przykrej wady lunet. Badania nie dały rezultatu praktycznego. Newton nie tylko sam nie zdołał usunąć t. zw. aberracji chromatycznej soczewek, lecz nawet błędną swą opinją przyczynił się niewątpliwie do opóźnienia konstrukcji soczewek achromatycznych. Zato fizyczna strona powstawania barw została wyjaśniona w Newtonowskiej „Optyce' aż do drobnych szczegółów w sposób krystalicznie jasny, — drogą doświad-




Rys. 45.
Powstawanie tęczy; pierścienie Newtona według S'G r a v e s a n d e'a (1746).

czeń w swej prostocie wyjątkowo pięknych, systematycznych, niezmiernie urozmaiconych, splatających się ze ścisłem rozumowaniem w jedną całość harmonijną.

„Optyka" Newtona jest przedziwnem dziełem genjuszu. Czyta się ją dziś jeszcze jak najchętniej, i nie przez pietyzm dla jej twórcy, nie dla tradycyj, lecz — gwoli zainteresowania, jakie budzi i treść, i forma. Zakończenie „Optyki" stanowią tak zwane „Pytania" (Queries). Tu Newton wysuwa szereg zagadnień bądź nierozwiązanych, bądź budzących wątpliwości. Czytelnik ze zdumieniem spostrzega, iż Newton doskonale rozumiał istotę teorji falowej światła. Nie rozwijał jej dla tego poprostu, że widział olbrzymie trudności wytłumaczenia zapomocą fal całokształtu faktów optyki. Dziś, gdy w teorji kwantów wracamy do idej Newtona, słowa jego wydają się nam niejednokrotnie proroczemi. Jakże szybko zmieniają się w nauce nastroje! Wiek XIX, wiek tryumfu falowej teorji światła, nie dostrzegał tego, że Newton głębiej, wszechstronniej, gruntowniej, niż ktokolwiek w jego czasach, ujmował zagadkę światła. Brano mu za złe, że urokiem imienia swego, potęgą autorytetu hamował rozwój teorji światła przez stulecia. Obecnie nikt chyba nie postawiłby tego zarzutu.

Już przed Newtonem posługiwano się pryzmatami szklanemi. Rozszczepienie w pryzmacie światła białego na barwy znał De Dominis; badał je dość szczegółowo Marcus Marci z Pragi Czeskiej (1595—1667). De Dominis wszakże zupełnie błędnie rozumiał zjawisko obserwowane, a Marcus uważał barwy za osłabione lub zaciemnione światło. Dopiero Newton powiązał barwy ze współczynnikiem załamania [1]).

Poniżej podajemy szereg wyjątków z „Optyki" Newtona, które pozwolą czytelnikowi zapoznać się bliżej z tem dziełem.

---

[1]) Oceniamy tu rolę i zasługi Newtona zgodnie z tem, co pisze E. Mach w swej książce „Die Principien der physikalischen Optik historisch und erkenntnispsychologisch entwickelt", Lipsk, 1921. Odmienne stanowisko zajmuje E. Hoppe w streszczeniu historji fizyki, umieszczonem w tomie I-szym „Handbuch der Physik" (Berlin, 1926). Według Hoppego, zasługa zbadania natury światła białego należy do Marcusa Marci z Pragi Czeskiej, którego dzieło prawdopodobnie nie było znane Newtonowi. W tym przypadku, jak i w wielu innych, Hoppe nie zasługuje na zaufanie: autor ten okazuje zdumiewającą, rzadko spotykaną w pracach naukowych, stronniczość, gdy chodzi o badaczy niemieckich. E. Mach, który przez długie lata był profesorem w Pradze Czeskiej i interesował się specjalnie badaniami Marcusa Marci, swego ziomka, napewno jest w tej sprawie bardziej kompetentnym sędzią, niż Hoppe.

## Rozdział III.

## SIR IZAAKA NEWTONA

### Optyka czyli rozprawa o światła odbiciach, załamaniach, uginaniu i barwach [1]).

**Optyki księga pierwsza.**

CZĘŚĆ PIERWSZA.

NIE jest zamiarem moim wyjaśniać w książce tej własności światła zapomocą hipotez, lecz — li tylko podać je i stwierdzić drogą rachunku i eksperymentu. W tym celu poprzedzę wykład następującemi określeniami i pewnikami.

W swych określeniach i pewnikach daje Newton czytelnikowi krótkie wiadomości o zasadniczych faktach z dziedziny odbicia i załamania światła. Opuszczając je, przechodzimy wprost do rozdziału, noszącego nagłówek:

**Tezy.**

TEZA I. TWIERDZENIE I.

Światło o różnej barwie posiada też różne stopnie łamliwości.

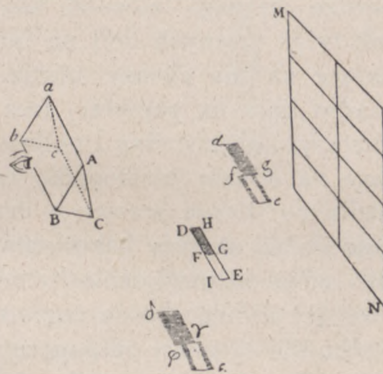
Dowód doświadczalny.

Doświadczenie 1. Wziąłem podłużny kawałek sztywnego papieru czarnego o brzegach równoległych i zaznaczyłem na nim zapomocą linji poprzecznej, prostopadłej względem obydwu boków dwie części równe. Jedną połowę pomalowałem farbą czerwoną, drugą zaś — niebieską. Papier był bardzo czarny, farby zaś nałożono

---

1) Opticks or, a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light. (Pisownia oryginału) (1704). Tłumaczono z przekładu Williama Abendrotha w Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften (Nr. 96 i 97 tego wydawnictwa).

intensywnie i grubo, aby zjawisko występowało wyraźniej. Papier ten obserwowałem przez masywny pryzmat szklany; dwa jego boki, przez które światło dochodziło do oka, były równe i dobrze wypolerowane i tworzyły ze sobą kąt około 60°; kąt ten nazywam *kątem łamiącym pryzmatu*. Przy obserwacji trzymałem papier i pryzmat przed oknem tak, że długie boki papieru i krawędzi pryzmatu były do siebie równoległe, i wszystkie one, jako też i linje poprzeczne, były poziome; światło, padające z okna na papier, tworzyło z nim taki sam kąt, jak i światło odbite od pasma papieru w kierunku oka. Poza pryzmatem (z punktu widzenia obserwatora) pod oknem ściana pokoju była całkowicie pokryta czarnem suknem, a to ostatnie tak było pogrążone w ciemności, iż stamtąd światło wcale nie było odbijane. Więc też nie mogło ono mieszać się ze światłem, idącem od samego papieru, i nie mogło komplikować zjawiska, przechodząc koło brzegów papieru i dostając się do oka. Przy tem urządzeniu znalazłem, że, kiedy kąt łamiący pryzmatu był zwrócony do góry tak, że papier wydawał się podniesiony do góry wskutek załamania, to niebieska jego połowa wydawała się podniesiona wyżej wskutek załamania, niż czerwona (rys. 46). Jeżeli jednak zwrócimy kąt łamiący pryzmatu ku dołowi tak, aby papier przez załamanie wydawał się przesunięty wdół, wówczas połowa niebieska wyda się położona nieco niżej od czerwonej. A zatem w obu przypadkach światło niebieskiej połowy papieru, dochodząc przez pryzmat do oka, doznaje przy innych okolicznościach jednakowych załamania silniejszego od światła, idącego od połowy czerwonej; jest ono więc *silniej łamliwe*.




Rys. 46.

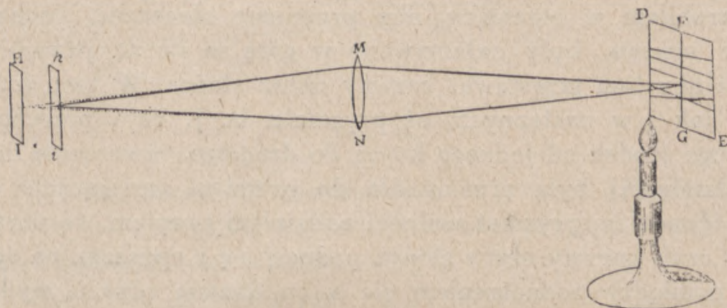
Na rys. 46 *MN* przedstawia okno, *DE* papier z równoległemi bokami *DI* i *HE*; zapomocą linji poprzecznej *FG* jest on podzielony na dwie połowy, z których *DG* jest intensywnie niebieska, druga zaś *FE* intensywnie czerwona. *BAC cab* jest to pryzmat, którego łamiące powierzchnie *AB ba* i *CA ca* przecinają się wzdłuż krawędzi łamiącej *A a*. Znajduje się ona u góry i jest równoległa zarówno

względem horyzontu, jako też do obwodu boków papieru *DI* i *HE*, a linja poprzeczna *FG* jest prostopadła do płaszczyzny okna. Dalej znów *de* przedstawia obraz papieru, który wskutek załamania wydaje się podniesiony w ten sposób, że część niebieska *DG* jest podniesiona do *dg*, to jest wyżej, niż część czerwona, która ukazuje się w *fe*; niebieska zatem doznaje załamania silniejszego. Jeżeli natomiast kąt łamiący jest na dole, to obraz papieru załamuje się ku dołowi, np. ku δε, i niebieska połowa papieru ukazuje się w δγ, głębiej jeszcze, niż czerwona w φε.

Doświadczenie 2. Około wspomnianego papieru, którego obie połowy były pomalowane na czerwono i na niebiesko i który był tak sztywny, jak cienka tektura, owinąłem wielokrotnie cienką nitkę bardzo czarnego jedwabiu tak, że pojedyncze części nitki wyglądały jak tyleż czarnych linij na farbie lub też — jak długie cienkie, padające na nią ciemne cienie. Mógłbym był poprowadzić piórem czarne linje na papierze, lecz nitki były cieńsze i miały ostrzejsze kontury. Zabarwiwszy i polinjowawszy papier, umocowałem go wówczas na ścianie prostopadle do poziomu tak, że jedna barwa wypadła po stronie prawej, a druga — po lewej. Tuż przed papierem, koło dolnej granicy barw, ustawiłem świecę, aby papier silnie oświetlić, gdyż doświadczenie było wykonywane w nocy. Płomień świecy dosięgał dolnego końca papieru lub nieco wyżej. Potem w odległości 6 stóp i 2—3 cali [1]) od paperu umieściłem w pokoju soczewkę o średnicy $4^1/_2$ cala, która miała zbierać promienie, pochodzące z różnych punktów papieru, i miała je doprowadzać do zbieżności w tyluż punktach poza soczewką w tej samej odległości 6 stóp 2—3 cali; tym sposobem miała ona rzucać obraz papieru barwnego na papier biały tym samym sposobem, jak soczewka wstawiona w otwór okna rzuca obraz przedmiotów zewnętrznych na biały arkusz papieru. Wspomniany papier biały, który był ustawiony prostopadle względem horyzontu i względem padających nań od soczewki promieni, przysuwałem lub odsuwałem od czasu do czasu od soczewki aby znaleźć miejsca, gdzie obrazy części niebieskiej i czerwonej papieru barwnego występowały najwyraźniej. Te miejsca poznawałem łatwo zapomocą obrazów czarnych linij, które dawał owinięty jedwab. Gdyż obrazy tych cienkich linij, które, ze względu na swój czarny kolor, wydawały się cieniami na barwach, były niewyraźne i ledwo widzialne, o ile barwy z obydwu stron każdej linji nie były zupełnie wyraźnie

[1]) Stopa = 30,5 cm., cal = 2,5 cm. (tł.).

określone. Gdy więc obserwowałem, jak mogłem najdokładniej, miejsca, gdzie obrazy czerwonych i niebieskich połówek papieru były najbardziej ostre, znalazłem, że tam gdzie czerwień była najwyraźniejsza, błękit wydawał się tak niewyraźnym, iż zaledwie można było zauważyć na nim czarne linje, i — odwrotnie: gdzie błękit był najwyraźniejszy, czerwień wydawała się niewyraźna, i jej czarne linje były zaledwie dostrzegalne. Pomiędzy temi dwoma miejscami




Rys. 47.

największej wyrazistości był odstęp około $1^1/_2$ cala; a mianowicie odległość białego papieru od soczewki wówczas, gdy czerwona połowa barwnego papieru dawała obraz najwyraźniejszy, była o $1^1/_2$ cala większa, niż odległość tegoż białego papieru od soczewki, kiedy obraz niebieskiej połowy wydawał się najbardziej ostry. A zatem przy jednakowem padaniu na soczewkę błękitu i czerwieni, błękit o tyle silniej był przez soczewkę załamywany, że zbierał się o $1^1/_2$ cala bliżej; błękit tedy silniej jest łamliwy.

Niech na rys. 47 *DE* oznacza papier barwny, *DG* — połowę niebieską, *FE* — połowę czerwoną, *MN* — soczewkę, *HI* — papier biały w tem miejscu, gdzie czerwona połowa ze swemi czarnemi linjami była najwyraźniejsza, i *hi* ten sam papier w tem miejscu, gdzie niebieska połowa wydawała się najwyraźniejsza. Miejsce *hi* było $1^1/_2$ cala bliższe soczewki, niż — *HI*.

TEZA II. TWIERDZENIE II.

Światło słońca składa się z promieni różnej łamliwości.

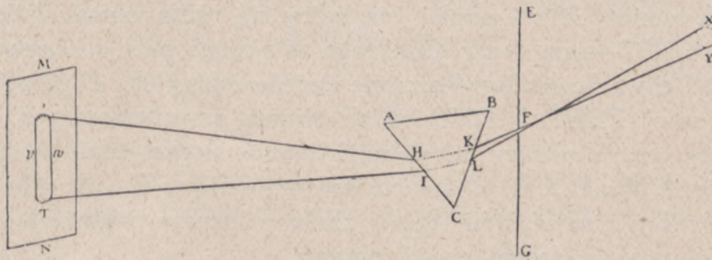
Dowód doświadczalny.

Doświadczenie 3. W zupełnie ciemnym pokoju postawiłem pryzmat szklany przed okrągłym, około $^1/_3$ cala szerokim otworem, który zrobiłem w okiennicy, aby promienie słoneczne, dochodzące od tego otworu, były załamywane w górę w stronę przeciwległej ściany i aby tam powstawał barwny obraz słońca. W tem doświadczeniu, jak i w następnych, oś pryzmatu (t. j. linja przechodząca przez jego środek od jednego końca do drugiego, równolegle do krawędzi łamiącej) była prostopadła do promieni padających. Około osi tej obracałem pryzmat wolno i widziałem przytem, że obraz załamany czyli barwny obraz słońca podnosi się i opuszcza na ścianie. Kiedy pomiędzy podnoszeniem się a opadaniem obrazu wydawało się, iż obraz zatrzymuje się w spoczynku, pozostawiłem i umocowałem pryzmat w tem położeniu tak, że nie mógł się on dalej poruszać. Albowiem w tem położeniu załamania światła były sobie równe po obu stronach kąta łamiącego, t. j. przy wejściu i przy wyjściu promieni z pryzmatu [1]). Takim sposobem, i przy innych okolicznościach, ilekroć chciałem mieć wzajemnie równe załamania z obydwu stron pryzmatu, określałem miejsce, gdzie obraz słońca, wytworzony przez światło załamane, zatrzymywał się nieruchomo pomiędzy swemi dwoma ruchami przeciwnemi przy zmianie ruchu postępowego na ruch wsteczny; kiedy tylko obraz padał na to miejsce, umocowywałem pryzmat.

W następnych doświadczeniach należy zawsze przyjmować, o ile wyraźnie nie jest podana inna przyczyna, że wszystkie pryzmaty są doprowadzone do tego położenia, jako do najodpowiedniejszego. A zatem w tej pozycji pryzmatu rzucałem światło załamane prostopadle na arkusz białego papieru na przeciwległej ścianie pokoju i obserwowałem postać i wymiary obrazu słońca, wytworzonego przez światło na papierze. Obraz ten był podłużny, jednak nie owalny, lecz ograniczony przez dwa boki proste i równoległe, na końcach zaś — przez dwa półkola. Na bokach swych był on zupełnie wyraźnie

[1]) Widać z tego ustępu, że Newton stale posługiwał się ustawianiem pryzmatów w pozycji najmniejszego odchylenia promieni. Mamy tu próbkę jego wielkiej spostrzegawczości: w pozycji tej obrazy są najwyraźniejsze.

ograniczony, lecz przy końcach zamglony i niewyraźny, gdyż światło stawało się tam wciąż słabszem i stopniowo znikało. Szerokość tego obrazu odpowiadała średnicy słońca i wynosiła łącznie z półcieniem

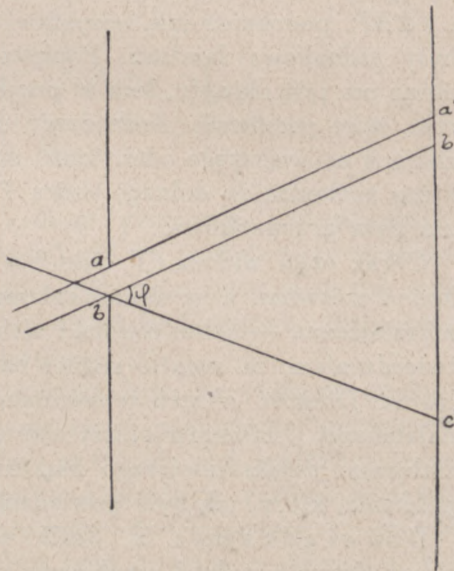


Rys. 48.

około $2^{1}/_{8}$ cala. Obraz był mianowicie o $18^{1}/_{2}$ stopy odległy od pryzmatu, i na tej odległości szerokość obrazu, przez pryzmat wytwarzanego, odpowiada kątowi około $^{1}/_{2}{}^{0}$, który jest średnicą pozorną słońca, jeżeli przy tem szerokość obrazu tego zmniejszyć o średnicę otworu w okiennicy, t. j. o $^{1}/_{4}$ cala [1]).

. . . . . . . . . . . . . .

Niech oznacza *EG* na rys. 48 okiennicę, *F* — otwór w niej, przez który wpada do ciemnego pokoju wiązka promieni słonecz-



Rys. 49.

[1]) Średnicą pozorną słońca nazywamy kąt, który tworzą promienie, idące od punktów krańcowych jego średnicy. Obliczenie Newtona można zrozumieć na podstawie dołączonego tu 49-go rysunku. Zważywszy, że kąt φ (średnica pozorna słońca) iest bardzo mały, będziemy mogli uważać $b'$ $c'$ za odpowiedni łuk, skąd

$$\varphi = \frac{b'c'}{bc'}.$$

Widocznem jest, że $b'c'$ równa się długości obrazu, zmniejszonej o średnicę otworu *ab*. Podstawiając w ten wzór wartości liczbowe, podane w tekście, i biorąc pod uwagę, że stopa angielska = 30,5 cm., a cal = 2,54 cm., otrzymamy $\varphi = 29'$ (około), co, ze względu na przybliżony charakter pomiaru, zgadza się dobrze z rzeczywistością.

nych, i — △ *ABC* środkowy przekrój pryzmatu w miejscu przechodzenia światła. Lub też, jeżeli chcemy, niech *ABC* przedstawia sam pryzmat, zwrócony swym końcem do oka obserwatora; i niech *XY* oznacza słońce, *MN* — papier, na który się rzuca obraz słońca czyli widmo i *PT*—sam obraz. Boki tego ostatniego przy *v* i *w* są prostolinjowe i równoległe; powierzchnie końcowe przy *P* i *T* są półkoliste. Niech dalej *YKHP* i *XLIT* będą dwoma promieniami, z których pierwszy, przychodzący od dolnych części słońca, idzie ku najwyższej części obrazu i w pryzmacie załamuje się w *K* i *H*, gdy ostatni, przybywając z najwyższej części słońca, doznaje załamania w *L* i *I* i dostaje się do dolnej części obrazu.

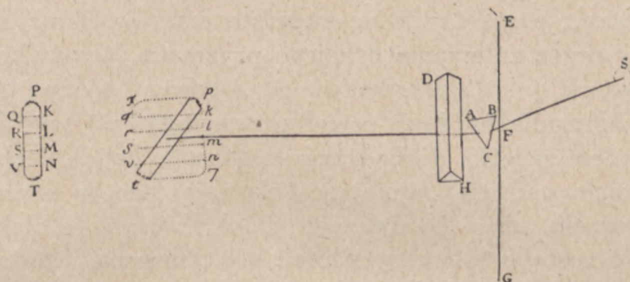
Tym więc sposobem podług prawideł zwykłej optyki, długość obrazu *PT* odpowiadałaby kątowi $^1/_2{}^0$ przy wejściu do pryzmatu i powinnaby zatem być równa szerokości *vw*, wobec czego obraz byłby okrągły. Takby się rzecz miała, gdyby obydwa promienie *XLIT* i *YKHP*, podobnież jak wszystkie inne, które tworzą obraz *Pw Tv*, były jednakowo łamliwe. Ponieważ jednak doświadczenie uczy, że obraz nie jest okrągły, lecz w przybliżeniu 5 razy tak długi, jak szeroki, więc promienie, dochodzące do górnego końca obrazu *P* i doznające największego odchylenia, muszą być bardziej łamliwe, niż te, które dochodzą do dolnego końca *T*, chyba, żeby nierówność załamania była przypadkowa.

Obraz czyli widmo *PT* było barwne, — na mniej załamanym końcu czerwone, a na silniej załamanym — fiołkowe, a pomiędzy temi miejscami — żółte, zielone i niebieskie. To się zgadza z pierwszem twierdzeniem, że światło różnej barwy posiada zarazem różną łamliwość. Długość obrazu w ostatniem doświadczeniu zmierzyłem od najsłabszej i najskrajniejszej czerwieni z jednego końca, aż do najsłabszego najskrajniejszego błękitu z drugiej, z wyjątkiem małego półcienia, który, jak było powiedziane, zaledwie przenosił $^1/_4$ cala.

Doświadczenie 5. Jeśli w doświadczeniu 3 rozciągnięty obraz słońca przybrał wydłużoną postać (bądź wskutek rozszerzenia każdego promienia, bądź wskutek innej wypadkowej nierówności załamań), to przez drugie załamanie, skierowane wbok, ten sam wydłużony obraz musiałby być tyleż (dzięki tym samym przyczynom) rozwinięty wszerz. Zważywszy to, zbadałem, jaki byłby skutek drugiego załamania tego rodzaju. W tym celu urządziłem wszystko tak, jak — w trzeciem doświadczeniu, i ustawiłem dalej drugi pryzmat bezpośrednio za pierwszym w pozycji względem tego ostatniego skrzyżowanej; tym sposobem musiał on powtórnie załamywać promienie,

wychodzące z pierwszego. Pierwszy pryzmat załamywał promienie świetlne ku górze, drugi — wbok. Znalazłem wówczas, że przez załamanie drugiego pryzmatu szerokość obrazu nie powiększała się, że jednak górna jego część, która doznała silniejszego załamania w pierwszym pryzmacie, a była fiołkowa i niebieska, również i w drugim pryzmacie doznawała załamania silniejszego, niż dolna część obrazu, która była czerwona i żółta, przytem obraz w szerokości swej nie doznawał żadnego rozciągnięcia.

Niech na rys. 50 *S* oznacza słońce, *F* — otwór w oknie, *ABC* — pryzmat pierwszy, *DH* — drugi, *Y* — okrągły obraz słońca, powsta-




Rys. 50.

jący przy usunięciu pryzmatów z drogi promienia idącego wprost (obraz ten jest opuszczony na figurze), *PT* — podłużny obraz słońca, który dają te promienie po przejściu wyłącznie przez pierwszy pryzmat, przy pominięciu drugiego, i *pt* obraz, wytworzony przez skrzyżowane załamanie obydwu pryzmatów.

Przypuśćmy teraz, że promienie, zdążające do różnych punktów okrągłego obrazu *Y*, zostają rozszerzone i rozproszone przez załamanie w pryzmacie pierwszym tak, iż nie idą już wzdłuż pojedyńczych, różnych od siebie linij, ku poszczególnym różnym punktom, lecz każdy promień zostaje rozszczepiony i rozproszony i z promienia linjowego zamieniony na powierzchnię promieni rozbieżnych, które, wychodząc z punktu załamania, będą leżały w płaszczyźnie kąta padania i załamania. Inaczej mówiąc, przypuśćmy, że promienie w tych płaszczyznach przebiegają w tyluż linjach od jednego końca obrazu PT do drugiego, i że z tego powodu obraz staje się wydłużony. Gdyby to wszystko tak się miało, wówczas musiałyby promienie te i ich poszczególne części, skierowane ku różnym punktom obrazu *PT*, zostać jeszcze raz rozszerzone, a zarazem wskutek załamania poprzecznego w pryzmacie drugim — rozproszone wbok tak, iż wy-

twarzałyby obraz kwadratowy, jak to jest przedstawione w π *Z*. Dla lepszego zrozumienia powyższego, pomyślmy sobie, że obraz *PT* jest rozłożony na pięć równych części *PQK*, *QKRL*, *LRSM*, *MSVN* i *NVT*. Wskutek tej samej nieprawidłowości, dzięki której obraz kolisty *Y*, rozszerzony wskutek załamania pierwszego pryzmatu, rozciągnięty jest w długi obraz *PT*, musiałoby i światło *PQK*, które zajmuje przestrzeń tej samej długości i szerokości, co i *Y*, być rozszerzonem dzięki załamaniu drugiego pryzmatu i rozciągniętem w długi obraz *πqkp*; również i światło *KQRL* — w długi obraz *kqrl*, a powierzchnie świetlne *LRSM*, *MSVN*, *NVT* — w długie obrazy *lrsm*, *msvn*, *nvtζ*; a wszystkie te długie obrazy dałyby razem obraz πζ...

Lecz sprawa przedstawia się zupełnie inaczej. Obraz *PT* nie stał się szerszy przez załamanie drugiego pryzmatu, lecz tylko dał obraz stojący ukośnie, jak go przedstawia *pt*, albowiem górny jego koniec *P* wskutek załamania bardziej został przesunięty, niż jego koniec dolny *T*. A zatem światło, dochodzące do górnego końca *P* obrazu (przy równym kącie padania) silniej zostało załamane w pryzmacie drugim, niż światło, idące do dalszego końca *T*, czyli — błękitna i fiołkowa część zostały załamane silniej, niż czerwona i żółta; pierwsze były zatem s i l n i e j ł a m l i w e. To samo światło zostało już dalej przesunięte od miejsca *Y*, ku któremu było skierowane przed załamaniem, dzięki załamaniu w pryzmacie pierwszym, a zatem doznawało zarówno w pierwszym, jak i w drugim pryzmacie, załamania silniejszego, niż całe światło pozostałe, a zatem już przed napotkaniem pierwszego pryzmatu było silniej łamliwe, niż inne rodzaje światła.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

D o ś w i a d c z e n i e 6. W dwu cienkich deskach zrobiłem po środku każdej okrągły otwór o średnicy $^1/_3$ cala, a w okiennicy otwór daleko większy, aby wpuścić do mego zaciemnionego pokoju grubą wiązkę promieni słonecznych. Za okiennicą wstawiłem pryzmat w bieg tych promieni tak, żeby one były załamywane ku ścianie przeciwległej; a tuż za pryzmatem umocowałem jedną z desek tak, iż środek światła załamanego przechodził przez otwór w desce, a pozostałe światło było przez nią zatrzymywane. Ustawiłem wówczas w odległości około 12 stóp od deski deskę drugą tak, że środek światła załamanego, które po przejściu przez otwór w pierwszej desce padało na ścianę przeciwległą, mógł przechodzić przez otwór w tej drugiej desce, podczas gdy światło pozostałe przez nią przejęte, wytwarzało na niej barwny obraz słońca. Tuż za tą deską umocowałem

drugi pryzmat, aby światło, które przeszło przez otwór, poddać załamaniu. Potem prędko powróciłem do pryzmatu pierwszego, obracałem go zwolna tam i napowrót koło jego osi i w ten sposób poruszałem do góry i nadół obraz padający na drugą deskę tak, iż wszystkie części światła jedna po drugiej przechodziły przez otwór tej deski i padały na ustawiony poza nią pryzmat. Uważałem przy tem, na jakie miejsce na ścianie przeciwległej padało to światło po załamaniu w drugim pryzmacie. Znalazłem z różnicy tych miejsc, że to światło, które, będąc najsilniej załamane przez pryzmat pierwszy, dochodziło do niebieskiego końca obrazu, i w drugim pryzmacie było silniej załamywane, niż światło, idące do części czerwonej obrazu tego. To potwierdza tak pierwsze, jak i drugie doświadczenie.




Rys. 51.

Wszystko to zachodziło niezależnie od tego, czy osi obydwu pryzmatów były równoległe, czy też dowolnie nachylone względem siebie lub względem horyzontu.

Niech *F* na rys. 51 oznacza szeroki otwór w okiennicy, przez który słońce oświetla pierwszy pryzmat *ABC* i niech światło załamane pada na środek deski *DE*, a środkowa część światła tego — na otwór *G*, zrobiony po środku tej deski. Niech ta przepuszczona część światła pada znów na środek drugiej deski *de* i niech tu tworzy podłużne widmo barwne słońca, jak to jest opisane w doświadczeniu trzeciem. Jeżeli teraz obracać powoli pryzmat *ABC* około jego osi, obraz ten na desce *de* podnosi się i opada, i tym sposobem przechodzą stopniowo przez otwór g, który jest po środku tej deski, wszystkie części widma, od jednego końca do drugiego. Tymczasem umieszcza się inny pryzmat abc tuż za otworem g, aby drugi raz załamać światło przepuszczone. Gdy to wszystko tak urządziłem, zwracałem uwagę na miejsca *M* i *N* ściany przeciwległej, na które padało światło załamane, i znalazłem, że zmieniały się one wciąż, gdy obracałem pierwszy pryzmat koło osi jego, podczas gdy dwie deski i drugi pryzmat po-

zostawały w pozycji niezmienionej. Kiedy mianowicie dolna część światła, padającego na drugą deskę *de*, przechodziła przez otwór *g*, to światło spotykało niższe miejsce *M* ściany; a kiedy przez ten sam otwór przechodziła część górna, napotykała ona wyżej położone miejsca ściany *N*, i, kiedy przechodziła pośrednia część światła, napotykała ona miejsce pomiędzy *M* i *N*. Niezmienne położenie otworów w deskach warunkowało dokładnie jednakowy kąt padania promieni na drugi pryzmat we wszystkich razach; jednak, pomimo jednakowego padania, niektóre promienie były silniej załamywane, inne — mniej: silniej mianowicie były załamywane w drugim pryzmacie te promienie, które, wskutek silniejszego załamania w pierwszym pryzmacie, były bardziej odchylone wbok; ponieważ zatem były one stale silniej załamywane, niż inne, więc zupełnie słusznie zostały nazwane silniej łamliwemi.

### CZĘŚĆ DRUGA.

### TEZA V. TWIERDZENIE 4.

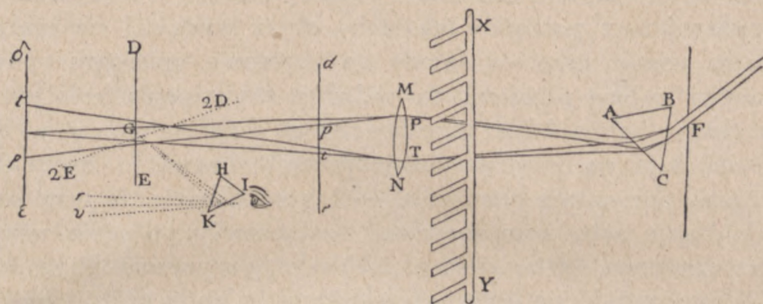
Barwa biała i wszystkie barwy szare pomiędzy białą i czarną mogą być złożone z barw; barwa biała światła słonecznego składa się z barw pierwotnych, które są zmieszane w odpowiednim stosunku.

Dowód doświadczalny.

Doświadczenie 10. Niech teraz pada widmo obrazu słońca (rys. 52) na soczewkę *MN*, mającą więcej, niż 4 cale wielkości, i około 6 stóp odległą od pryzmatu *ABC*, która to soczewka barwne, rozbieżne za pryzmatem światło, czyni zbieżnem i zbiera je w swem ognisku *G*, odległem około 6 — 8 stóp od soczewki, gdzie ono pada prostopadle na biały papier *DE*. Jeżeli teraz będziemy poruszali ten papier tam i napowrót, zauważymy, że bliżej soczewki, około *de* naprzykład, pojawia się na papierze cały obraz słoneczny *pt* intensywnie zabarwiony, jak to było opisane powyżej, — że jednak, przy większej odległości od soczewki, barwy coraz się zbliżają do siebie i wskutek zmieszania stają się wciąż mniej wyraźne, aż w końcu papier dochodzi do ogniska *G*, w którem, dzięki doskonałemu zmieszaniu, znikają one całkowicie i przemieniają się w barwę białą; całe światło wydaje się wówczas na papierze małym, białym krążkiem. Potem gdy papier zostanie jeszcze bardziej oddalony od soczewki, promienie poprzednio zbieżne skrzyżują się w ognisku *G* i stamtąd będą się

rozchodziły i znów okażą barwy, lecz — w porządku odwrotnym, np. w δε, gdzie czerwień *t* jest teraz u góry, gdy przedtem była na dole; a fiolet, który przedtem był u góry, teraz będzie na dole.

Teraz umieśćmy na stałe papier w ognisku *G*, gdzie światło wydaje się zupełnie białem i okrągłem, i rozpatrzmy tę białą barwę; ja twierdzę, że ta barwa biała jest złożona z barw zbiegających się. Albowiem, jeżeli jedna jakakolwiek z tych barw lub ich kilka zostaną zatrzymane koło soczewki, to barwa biała znika i przechodzi w te barwy, które powstają przez złożenie innych promieni nie zatrzymanych. Jeżeli wówczas przepuścić zatrzymane barwy i rzucić je na tę




Rys. 52.

barwę złożoną, to mieszają się one z nią i znów wytwarzają dzięki temu barwę białą. Jeżeli np. zostaną zatrzymane barwy fiołkowa, niebieska i zielona, to pozostałe żółta, pomarańczowa i czerwona przechodzą razem na papierze w rodzaj barwy pomarańczowej; jeżeli wówczas przepuścimy barwy zatrzymane, to upadną one na tę złożoną barwę pomarańczową i dadzą wraz z nią przez podwójne sumowanie barwę białą. Lub jeżeli zatrzymamy czerwień i fiolet, to pozostałe promienie żółte, zielone i niebieskie dadzą na papierze zieleń pewnego rodzaju; jeżeli potem rzucimy na tę zieleń czerwień i fiolet, to przez podwójne sumowanie powstaje barwa biała. Prócz tego na podstawie poniższych dowodów stanie się dalej jasnem, że, przy tem składaniu barwy białej, różne promienie jako barwy nie doznają wskutek wzajemnego oddziaływania zmian żadnych w swych własnościach, lecz tylko zostają zmieszane i wskutek zmieszania wytwarzają barwę białą.

Jeżeli papier jest umieszczony poza *G*, np. w δε, i jeżeli barwa czerwona będzie wpobliżu soczewki bądź zatrzymywana, bądź przepuszczana, to na papierze nie zajdzie żadna zmiana w fiolecie, jakby

przecież być powinno, gdyby różne rodzaje promieni wzajemnie na siebie oddziaływały w ognisku *G*, gdzie się krzyżują. Podobnież nie zmienia się na papierze czerwień przez kolejne zatrzymywanie i przepuszczanie fioletu.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Wreszcie sporządziłem sobie przyrząd *XY* w postaci grzebienia, którego zęby w liczbie 16 miały w przybliżeniu $1^1/_2$ cala szerokości, a pomiędzy niemi były luki dwucalowe. Wsuwając po kolei zęby tego grzebienia w bieg promieni w pobliżu soczewki, zatrzymywałem zapomocą nich część barw, podczas gdy pozostałe barwy przez luki dochodziły do papieru *DE* i tam rzucały okrągły obraz słońca. Papier ustawiłem z początku tak, żeby obraz wydawał się biały, jak tylko się usunie grzebień; kiedy go następnie opisanym sposobem wstawiłem w bieg promieni, to, wskutek zatrzymania koło soczewki części barw, barwa biała przechodziła za każdym razem w barwę, która składała się z barw niezatrzymnych; barwa ta zmieniała się wciąż przy poruszaniu grzebienia, — tak mianowicie, że przy każdem przechodzeniu zęba koło soczewki, następuwały po sobie wszystkie barwy: czerwona, żółta, zielona, niebieska, purpurowa. Przesuwałem tedy koło soczewki po kolei wszystkie zęby; kiedy ruch odbywał się wolno, widziało się na papierze kolejne następstwo barw; lecz kiedy ruch przyśpieszałem tak, że barwy wskutek szybkiego następowania po sobie nie mogły być od siebie odróżniane, wówczas znikały barwy poszczególne; nie widać było więcej ani barwy czerwonej, ani żółtej, ani zielonej, ani niebieskiej, ani też purpurowej, lecz przez zmieszanie wszystkich powstawała jednolita barwa biała... Kiedy wrażenia następują po sobie tak wolno, że mogą być oddzielnie odbierane, wówczas powstaje wyraźne wrażenie wszystkich barw poszczególnych w ich ciągłem następstwie, kiedy jednak one następują po sobie tak prędko, że nie są dostrzegane zosobna, to z ich całości powstaje wspólne wrażenie nie tej lub owej barwy, lecz — wszystkich bez wyjątku, i to jest wrażenie barwy białej. Wskutek prędkości kolejnego następowania po sobie, wrażenia barw różnych mieszają się w naszym organie zmysłów i wzbudzają uczucie mieszane. Kiedy obracamy po kole rozżarzony węgiel prędkim, wciąż powtarzającym się ruchem, to całe koło wydaje się ognistem; przyczyna polega na tem, że wrażenie świetlne węgla trwa w oku w różnych punktach koła, dopóki węgiel nie powróci na to samo miejsce. Również przy każdem prędkiem kolejnem następstwie barw pozostaje w nas wrażenie każdej barwy, póki nie przejdą po kolei wszystkie barwy

i nie wróci pierwsza. Dlatego też wrażenia wszystkich barw po kolei są jednoczesne w naszej jaźni i wzbudzają wspólnie wrażenie barw wszystkich. A więc jasnem jest z tego doświadczenia, że mieszane wrażenia barw wszystkich wytwarzają uczucie barwy białej, t. j., — że kolor biały złożony jest z wszystkich barw.

Kiedy teraz odjęto grzebień tak, że wszystkie barwy, wychodzące z soczewki, padały razem na papier, tam się mieszały i stamtąd były odbijane do oka obserwatora, wrażenie, wywierane przez nie na organ zmysłów, musiało wywoływać jeszcze żywsze uczucie białości, a to — wskutek subtelniejszego i doskonalszego zmieszania.

Doświadczenie 15. Kiedy wreszcie spróbowałem złożyć barwę białą przez zmieszanie proszków barwnych, jakich używają malarze, zauważyłem, że wszystkie proszki barwne znoszą znaczną część światła, które na nie pada, i zatrzymują w sobie. Albowiem stają się one barwne przez to, że odbijają obficej światło swej własnej barwy, a światło wszystkich innych barw odbijają skąpiej; a jednak odbijają one światło swej własnej barwy nie w tej ilości, jak to czynią ciała białe. Jeżeli, naprzykład, biały papier i minję wystawimy na czerwone światło widma, wytworzonego w ciemnym pokoju przez załamanie w pryzmacie, jak było opisane w trzeciem doświadczeniu części pierwszej, papier będzie błyszczał jaśniej, niż minja, a zatem odbija promienie, wzbudzające czerwień, w większej ilości, niż minja. Jeżeli trzymać te ciała w innej barwie, to światło odbite od papieru przewyższa światło odbite od minji w jeszcze większym stosunku. Ten sam przypadek zachodzi przy innych proszkach barwnych. Dla tego nie powinniśmy oczekiwać, że otrzymamy przez zmieszanie takich proszków silną, czystą barwę białą, jaką jest barwa papieru, lecz tylko — barwę cokolwiek zamierzchłą, ciemną, jaką daje mieszanina światła i mroku, bieli i czerni, t. j. rodzaj koloru szarego lub brunatnego, brunatnego zwanego rosyjskim, podobnego naprzykład do barwy ludzkich paznogci lub myszy, popiołu, zwykłych kamieni, gliny, pyłu, błota na drogach lub tym podobnych. Taki ciemny kolor biały wytwarzałem często przez mieszanie proszków kolorowych[1]).

W końcu części 1-szej napotykamy zastosowania teorji barw: wyjaśnienie tęczy i barw ciał w świetle odbitem i przechodzącym.

---

[1]) Następuje dalej opis doświadczeń z proszkami. Opuszczamy go dla braku miejsca. Rzuca się tam w oczy jeden szczegół: zadziwiająca u człowieka tak oddanego myśleniu abstrakcyjnemu umiejętność obserwowania i wyczuwania rze-

**Optyki księga druga.**

CZĘŚĆ PIERWSZA.

## Spostrzeżenia nad odbiciem, załamaniem i barwami cienkich ciał przezroczystych.

Już dawniej spostrzeżono, że substancje przezroczyste, jak szkło, woda, powietrze i t. d., kiedy się je otrzyma w postaci cienkich warstewek przez wydymanie baniek lub też w inny sposób, pokazują stosownie do swej grubości różne barwy, choć przy większej grubości wydają się zupełnie jasne i bezbarwne. W księdze poprzedniej zaniechałem omawiania tych barw, ponieważ wydawały się one trudniejsze do badania i nie były niezbędne do wyjaśnienia badanych tam własności światła. Ponieważ jednak mogą one prowadzić do dalszych odkryć, które przyczyniają się do uzupełnienia teorji światła, szczególnie w dziedzinie dotyczącej budowy cząstek ciał naturalnych, od której zależą ich barwy i ich przezroczystość, przeto zdam tu z nich sprawę. Aby uczynić to badanie krótkiem i jasnem, opiszę z początku me główne spostrzeżenia i te potem omówię i zastosuję. Spostrzeżenia były następujące:

Przyciskając do siebie dwa pryzmaty, które zbiegiem okoliczności nie były płaskie, zauważył Newton ciemną plamę, okoloną pierścieniami barwnemi. W spostrzeżeniu 4-em przechodzi do klasycznego sposobu otrzymywania pierścieni interferencyjnych.

Spostrzeżenie 4-te. Aby dokładniej zbadać kolejność barw, wziąłem dwa objektywy: płasko-wypukły od teleskopu 14 stopowego i duży dwuwypukły od teleskopu o jakichś 50 stopach długości; na drugi objektyw położyłem pierwszy, płaską jego stroną ku dołowi, i obydwa przycisnąłem lekko do siebie, aby stopniowo wywołać barwy po środku kół; następnie unosiłem górne szkło, aby prążki znowu stopniowo doprowadzić do zaniku. Ostatnia z barw, powstająca (w danej chwili) po środku innych przy ściskaniu szkieł, ukazywała się przy owem pierwszem pojawieniu jako koło prawie równomiernie zabarwione od obwodu do środka; przy silniejszem ściskaniu szkieł

---

czywistości. Nie mówi Newton ogólnikowo: proszek złocisty, czerwony, zielony, lecz nazywa wszystkie po imieniu: aurypigment, minja, grynszpan; znać eksperymentatora, nie gardzącego żadnym szczegółem. Nie mniej uderza polot wyobraźni w opisach: zamiast mówić o tem, że światło białe, otrzymane syntetycznie zapomocą proszków, jest szare, pisze on, iż jest ono „barwy paznogci ludzkich lub myszy, popiołu kamieni zwykłych, gliny, pyłu, błota na drogach..."

stawała się ona stopniowo szerszą, dopóki nie wystąpiła po środku nowa barwa, a tamta nie przeszła wskutek tego w pierścień, obejmujący tę nową barwę. Przy jeszcze silniejszem ściskaniu szkieł wzrastała średnica pierścienia tego, a jednocześnie szerokość powierzchni pierścienia zmniejszyła się, póki w jego punkcie środkowym nie wyłoniła się inna nowa barwa i t. d. Tak występowały tam jedna po drugiej trzecia, czwarta, piąta i wciąż nowe barwy, i powstawały pieścienie, które zawierały barwę najbliższą środka; z nich ostatnią była plama czarna.

Dalszy ciąg artykułu tego zawiera szczegółowy opis barw pierścieni; najdrobniejsze szczegóły są zanotowane z podziwu godną skrupulatnością.

S p o s t r z e ż e n i e 5. Aby określić odstęp pomiędzy szkłami lub grubość zawartej pomiędzy niemi warstwy powietrza, przez którą były wytworzone barwy, zmierzyłem średnicę pierwszych sześciu pierścieni na najjaśniejszem miejscu ich obwodu, podniosłem te średnice do kwadratu i znalazłem, że kwadraty to tworzyły szereg arytmetyczny liczb nieparzystych 1, 3, 5, 7, 9, 11. Ponieważ jedno ze szkieł było płaskie, a drugie sferyczne, przeto odstępy w obrębie tych pierścieni musiały tworzyć ten sam postęp [1]). Potem zmierzy-

---

[1]) Łatwo wykazać geometrycznie, że odstępy pomiędzy szkłem płaskiem a wypukłem są proporcjonalne do kwadratu odległości od punktu zetknięcia. Widzimy na rys. 53, że odstęp $CD = AM$. Z własności prostopadłej, poprowadzonej z wierzchołka kąta prostego, wiadomo, że

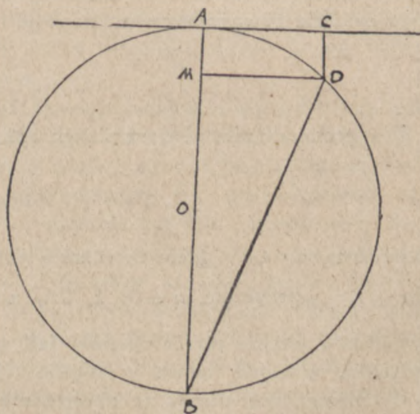
$$AM \,.\, BM = MD^2 \quad (1)$$

Z rysunku wynika, że

$$MB = AB - AM.$$

Wprowadźmy dalej następujące oznaczenia, które podstawimy w równanie 1. $AB$, średnica powierzchni sferycznej soczewki wypukłej — $2R$; $AC$, odległość danego miejsca (w zagadnieniu interferencji — promień pierścienia) od punktu zetknięcia soczewek — $r$; $AM = CD$, grubość warstewki powietrza $= x$. Po podstawieniu, znajdziemy

$$x\,(2R - x) = r^2; \quad x = \frac{r^2}{2R - x}.$$



Rys. 53.

Ponieważ bierze się soczewkę wypukłą o promieniu kilkometrowym, więc $x$, odstęp pomiędzy soczewkami, który się wyraża co najwyżej w dziesiątych lub set-

łem średnice ciemnych i matowych pierścieni pomiędzy jasnemi barwami i znalazłem, że ich kwadraty tworzą szereg arytmetyczny liczb parzystych 2, 4, 6, 8, 10, 12. Ponieważ jednak dokładne wykonywanie takich pomiarów jest rzeczą niepewną i trudną, powtarzałem pomiary wielokrotnie w różnych miejscach szkieł, aby zgodność ich była dowodem ich prawdziwości. Podobnie postępowałem przy wielu innych pomiarach, które przedsiębrałem w dalszych spostrzeżeniach.

Dalsza część księgi tej jest poświęcona szczegółowym spostrzeżeniom nad barwami cienkich warstewek i próbie wyjaśnienia wszelkich wogóle barw własnościami cienkich warstewek powierzchniowych. Tu rozprawa nabiera charakteru spekulacyjnego. Wykład jest wszędzie ujęty w formę dedukcyjną. Podajemy tezę XII, zawierającą pogląd autora na zjawisko pierścieni barwnych.

## TEZA XII.

Każdy promień świetlny przy przechodzeniu przez powierzchnię łamiącą nabiera pewnej własności lub dyspozycji, która przy dalszym biegu promienia powraca w równych odstępach i przy każdym powrocie nadaje mu zdolność łatwego przechodzenia przez najbliższą powierzchnię łamiącą i łatwego odbijania się

---

nych milimetra, może być pominięty w mianowniku w porównaniu z $2R$. Tak więc ostatnie równanie można napisać

$$x = \frac{r^2}{2R}.$$

Dla promieni niemal normalnych różnica dróg wynosi

$$2x = \frac{r^2}{R}.$$

Jasność mamy tam, gdzie ta różnica dróg wynosi nieparzystą liczbę połówek fal: $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$, przyczem $n = 0, 1, 2...$, a $\lambda$ oznacza długość fali. Należy bowiem uwzględnić jeszcze stratę połówki fali przy odbiciu, czego dowodzi ciemna plama pośrodku, o której mowa w tekście Newtona (ob. Witkowski, „Zasady", t. II). Biorąc pod uwagę tę okoliczność, znajdziemy, że

$$(2n+1)\frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R}; \quad r^2 = (2n+1)\frac{\lambda R}{2}.$$

Jest to właśnie prawo proporcjonalności kwadratów promieni lub średnic do szeregu liczb nieparzystych.

pomiędzy dwoma powrotami łatwego przechodzenia[1]).

To wynika ze spostrzeżeń 5, 9, 12 i 15; gdyż jasnem jest na podstawie tych spostrzeżeń[2]), że jeden i ten sam gatunek promieni, padając pod tym samym kątem na cienką blaszkę przezroczystą, kolejno wielokrotnie jest odbijany i przepuszczany w miarę, jak grubość blaszki wzrasta podług postępu arytmetycznego liczb 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6. 7 i t .d., i — w ten sposób mianowicie, że kiedy pierwsze odbicie (które daje pierwszy czyli najbardziej wewnętrzny z pomiędzy opisanych tam pierścieni barwnych) zachodzi przy grubości 1, to promienie są przepuszczane przy grubości 0, 2, 4, 6, 8, 10 i t. d., i dlatego wytwarzają ciemną plamę i pierścienie, pojawiające się w świetle przechodzącem; przy grubości zaś 1, 3, 5, 7, 9, 11 i t. d. są odbijane i wywołują pierścienie powstające przy odbiciu. To kolejne odbijanie i przepuszczanie powtarza się, jak wnioskuję ze spostrzeżenia 24-go, więcej, niż w 100 kolejnych następstwach, i, podług spostrzeżeń, które będą dane w najbliższej części tej książki, — wiele tysiący razy; zmiany te rozchodzą się od jednej powierzchni do drugiej nawet wówczas, gdy grubość płytki wynosi $^1/_4$ cala lub więcej; wydaje się tedy, że ta zmiana rozchodzi się bez końca i bez granic od każdej powierzchni łamiącej.

Księga trzecia „Optyki" zawiera interesujące spostrzeżenia i pomiary, dotyczące dyfrakcji. Zajmuje się Newton tylko prążkami dyfrakcji zewnętrznemi; niewątpliwie wiedział i o prążkach wewnętrznych, np. prążku jasnym, pojawiającym się po samym środku cienia geometrycznego wąskich ekranów, jak włos, igła; były one opisane już przez Grimaldi'ego[3]), na którego

[1]) Myśl o dyspozycjach lub przystępach łatwego odbijania się i łatwego przechodzenia światła stanowiła jeden z zasadniczych punktów teorji emisyjnej. Barwy cienkich warstewek wogóle, a pierścienie Newtona w szczególności, wskazują nam, że światło ma charakter perjodyczny. Tę perjodyczność własności światła sprowadzamy obecnie w teorji falowej do okresowości drgań świetlnych. Newton tłumaczył ją przystępami łatwego odbicia i załamania, których miały doznawać ciałka świetlne. (Obszerną krytykę teorji emisyjnej znajdzie czytelnik w pracach Fresnela w tomie niniejszym). Nie przypisywał zresztą Newton zbytniej wagi hipotezie ciałek, chodziło mu głównie o stwierdzenie perjodycznego charakteru zjawiska. Powstawanie prążków ciemnych tłumaczył Newton tem, że w danem miejscu promień, będący w przystępie łatwego przechodzenia, przenikał powierzchnię szkła; prążki jasne miały powstawać w miejscach łatwego odbijania się światła.

[2]) Te spostrzeżenia dotyczą pierścieni Newton'owskich.

[3]) Franciszek Marja Grimaldi (1613—1665), jezuita, wybitny matematyk, fizyk i astronom, odkrył uginanie się światła; odkrycie swe podał do wiado-

Newton się powołuje. Widocznem jest, że badacz nie nadawał prążkom tym znaczenia, które przypisała im później teorja falowa. Zresztą badania Newtona nad dyfrakcją mają charakter ułamkowy. Pisze on w zakończeniu księgi:

Kiedy zajmowałem się temi spostrzeżeniami, było moim zamiarem powtórzyć przeważną ich ilość z jeszcze większą starannością i dokładnością i wykonać jeszcze niektóre nowe spostrzeżenia, aby określić, jakim sposobem uginane są promienie świetlne przy przejściu około ciał, kiedy tworzą one barwne obwódki, poprzedzielane ciemnemi linjami. Lecz praca moja została wówczas przerwana, a teraz nie mogę myśleć o tem, aby te badania znów przedsięwziąć. Ponieważ zatem pozostawiłem tę część roboty mej niewykończoną, zakończę tem, że postawię tylko pewne pytania, aby inni dalej zbadali ten przedmiot.

Pytania, stanowiące dodatek do „Optyki", są niezmiernie ważnym i interesującym dokumentem, rzucającym światło na postać duchową Newtona. Ukazuje się tu w całej pełni umysł głęboki, ogarniający całokształt wiedzy, interesujący się wszystkiem, bystry obserwator i gruntowny znawca otaczającej natury. Wiele pytań zdumiewa: te same zagadnienia zostały wysunięte przez naukę na pierwszy plan dopiero w sto kilkadziesiąt lat po śmierci Newtona; inne problematy do dziś nie mniej są palące, niż za czasów Newtona. Nie przestaje Newton interesować tam nawet, gdzie przy obecnym stanie wiedzy z łatwością błąd wykazać możemy. Ciekawe są wreszcie „pytania", jako odbicie walki wewnętrznej, którą stoczył genjalny uczony, wahając się w wyborze pomiędzy teorją falową a emisyjną. Przyczyną odrzucenia teorji falowej nie było błędne rozumowanie, lecz to, że dane doświadczalne, które miał Newton w swem ręku, łatwiej dawały się ująć w system emisyjny, niż w system falowy. Między innemi widzi Newton trudność pogodzenia teorji falowej z polaryzacją światła; trudność ta przetrwała do wieku XIX; usunął ją Fresnel swem przypuszczeniem dodatkowem o poprzeczności drgań w promieniu świetlnym; jednak z pomiędzy współczesnych Fresnel'owi znakomitych uczonych wielu nie chciało się zgodzić na takie rozstrzygnięcie kwestji, i nie dziw: uważając eter za ciało sprężyste, napotykamy trudności nieprzezwyciężone w tłumaczeniu mechanicznem fal poprzecznych. Do dziś sprzeczności usunięte nie zostały. Ostatecznie trudno nie przyznać, że kierowała Newton'em nie chęć wywyższenia teorji własnej i ambicja osobista, lecz — jedynie wielkie i szczere umiłowanie prawdy.

Pytanie 1. Czy ciała nie działają na światło z pewnej odległości i czy przez to nie uginają jego promieni? i czy, przy jedna-

---

mości w dziele: „Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride, aliisque annexis libri II".

kowych innych okolicznościach, to oddziaływanie nie jest najsilniejsze przy odległości najmniejszej?

Pytanie 2. Czy promienie różnej łamliwości nie posiadają też różnej zdolności uginania się, i czy przez swe różne uginanie nie są one od siebie tak oddzielane, że wywołują barwy powyżej opisanych obwódek? I w jaki sposób zostają one ugięte, aby wytworzyć te obwódki barwne?

Pytanie 5. Czy ciała i światło nie działają na siebie wzajemnie, t. j. czy nie działają ciała na światło, wysyłając je, odbijając, załamując i uginając, i światło — na ciała, ogrzewając je i wprawiając ich cząstki w ten ruch wibracyjny, na którym polega ciepło?

Pytanie 13. Czy różne rodzaje promieni nie wykonywują drgań różnej wielkości i nie wzbudzają przez to uczucia barw różnych, tak naprzykład, jak drgania powietrzne, stosownie do wielkości swej, wzbudzają uczucie tonów różnych? I czy w szczególności najbardziej łamliwe promienie nie wzbudzają drgań najkrótszych i nie wywołują przez to wrażenia barwy ciemnofiołkowej, i najmniej łamliwe — drgań największych, aby dać wrażenie głębokiej czerwieni, i różne promienie pośrednie czy nie wzbudzają drgań wielkości średniej, aby wywołać uczucie różnych barw pośrednich.

Pytanie 17. Kiedy się rzuca kamień w spokojną wodę, to w miejscu, gdzie on upada do wody, podnoszą się przez czas pewien fale i rozchodzą się stamtąd na powierzchni wody kołami spółśrodkowemi aż na dalekie odległości. Ruchy drgające, wzbudzone przez wstrząśnienie w powietrzu, rozchodzą się od środka, w którym zostały wzbudzone, kołami spółśrodkowemi na dalekie odległości przez czas pewien. A kiedy promień świetlny pada na powierzchnię ciała przezroczystego i tam zostaje odbity lub załamany, to czy w punkcie padania nie zostają wzbudzone tym samym sposobem fale wibracyj lub wstrząśnień w środowisku łamiącem lub odbijającem, które to fale wciąż się podnoszą i stąd się rozchodzą, dopóki trwają...

Pytanie 18. Jeżeli zawiesimy dwa małe termometry w dwu odwróconych szerokich i długich cylindrach szklanych tak, że nie dotykają one naczyń, i z jednego z tych naczyń wypompujemy powietrze,—i jeżeli potem tak przygotowane naczynia przeniesiemy z miejsca zimnego w ciepłe, to termometr zawieszony w próżni ogrzewa się do tegoż stopnia i również prędko jak i termometr w naczyniu szklanem nieopróżnionem; a kiedy naczynia z powrotem zanieść w miejsce zimne, to termometr ten staje się prawie również prędko zimny, jak i drugi termometr. Czyż zatem gorąco pokoju ciepłego nie jest prze-

kazywane przez próżnię za pośrednictwem drgań środowiska daleko subtelniejszego od powietrza, które to środowisko pozostało jeszcze w naczyniu po usunięciu powietrza? I czy to środowisko nie jest tem samem, przez które światło jest załamywane lub odbijane i wskutek drgań którego światło ogrzewa ciała?...

Ptanie 22. Czy planety, komety i wszystkie wielkie ciała nie mogą wykonywać swych ruchów w tem środowisku eterowem daleko swobodniej i napotykając mniejszy opór, niż w cieczy jakiejkolwiek, któraby wypełniała każdą przestrzeń równomiernie, nie pozostawiając por, a zatem byłaby daleko gęstsza, niż rtęć lub złoto? Czy ten opór nie może być tak mały, że nie wchodzi wcale w grę? Jeżeli np. przyjmiemy, że ten eter (ponieważ tak go będę nazywał) jest 700000 razy sprężystszy i przytem 700000 razy rzadszy od naszego powietrza, to jego opór byłby 600000000 razy mniejszy od oporu wody, i tak mały opór zaledwie w ciągu dziesięciu tysięcy lat wywołałby widoczną zmianę w ruchach planet. Gdyby kto miał zapytać, jak może być tak rzadkiem jakieś środowisko, ten niech mi odpowie, jak powietrze w najwyższych częściach atmosfery może być przeszło sto tysięcy razy rzadsze od złota, ten niech mi powie dalej, jak potarte ciało elektryczne może wydawać z siebie tak rzadkie i delikatne ekshalacje, że przez ich wysyłanie nie zachodzi żadna widoczna strata na wadze; a jednak ekshalacje te tak są silne, że rozchodzą się w przestrzeni na odległość dwu stóp i w odległości jednej stopy od ciała elektrycznego są w stanie wprawić w ruch listki miedzi i złota i podnosić je. I jak mogą być tak rzadkie i subtelne wypływy (effluvia) magnetyczne, iż bez oporu i bez straty na sile przenikają przez płytkę szklaną, a jednak są jeszcze w stanie wprawić w ruch poza szkłem igłę magnesową.

Pytanie 28. Czy nie są niesłuszne wszystkie hipotezy, podług których światło ma polegać na ciśnieniu lub ruchu, które się rozchodzą w pewnym fluidzie?...

Gdyby ono polegało na ciśnieniu lub ruchu, które się rozchodzą w czasie lub momentalnie, to musiałoby zaginać się wgłąb cienia; gdyż ciśnienie lub ruch nie mogą przechodzić w danym fluidzie po linji prostej koło przegrody, która zatrzymuje część tego ruchu, aby się nie ugiąć i nie szerzyć się za przegrodą. Siła ciężkości jest skierowana ku dołowi, lecz wynikające stąd ciśnienie wody jest skierowane z równą siłą na wszystkie strony i rozchodzi się również łatwo i z tą samą siłą wbok, jak i ku dołowi, po drogach prostych, jak i po

drogach zakrzywionych. Kiedy fale wzbudzone na powierzchni spokojnej wody przechodzą koło brzegów szerokej przegrody, zaginają się one za przegrodę i szerzą się w spokojnej wodzie za nią. Również i fale, uderzenia i drgania powietrza, które tworzą dźwięk, doznają oczywiście uginania, choć nie tak silnego, jak fale wody. Gdyż dzwon lub działo słychać za pagórkiem, który nie pozwala dostrzec ciała dźwięczącego, i tony rozchodzą się równie łatwo w piszczałkach zakrzywionych, jak i w prostych. Ale, co się tyczy światła, nie spostrzegamy nigdy, aby się ono poruszało po drogach krzywych lub też zaginało wewnątrz cienia. Gwiazdy stałe znikają za planetami, — również te miejsca kręgu słonecznego, przed któremi przechodzą Księżyc, Merkury lub Wenus. Prawda, że promienie świetlne, przechodzące tuż koło krawędzi ciała, zostają, jakeśmy widzieli, nieco ugięte wskutek oddziaływania ciała, lecz to uginanie nie zachodzi wgłąb cienia, lecz nazewnątrz i tylko wtedy, kiedy promienie świetlne przechodzą w jak największej bliskości ciała; kiedy tylko promień minie ciało, biegnie on dalej po linji prostej.

Niemniejszą trudność napotyka Newton w tłumaczeniu na podstawie teorji falowej zjawisk podwójnego załamania, a przedewszystkiem w tłumaczeniu doświadczenia Huygensa z dwoma kryształami (ob. str. 285 niniejszej książki). Powraca wtedy znów do kwestji oporu środowiska ciekłego, która to kwestja teraz, wbrew temu, co było powiedziane wyżej (ob. str. 227 i 228), wydaje się niemożliwą do rozstrzygnięcia na korzyść przypuszczenia o eterze wszechświatowym. Sądzi wreszcie Newton, że i z ogólno-filozoficznego punktu widzenia hipoteza eteru powinna być odrzucona.

...Jest zadaniem głównem filozofji natury wyciągnąć wnioski ze zjawisk bez hipotez, a przyczyny wyprowadzać z oddziaływania zjawisk, dopóki nie osiągniemy pierwszej prawdziwej przyczyny, która z pewnością nie jest mechaniczna; i nie jest zadaniem filozofji rozwikływać mechanizm świata, lecz przedewszystkiem — rozstrzygnąć kwestje w rodzaju następującym:

Co napełnia przestrzenie wolne od materji, i skąd pochodzi, że słońce i planety przyciągają się wzajemnie, chociaż niema pomiędzy niemi materji gęstej? Skąd pochodzi, że natura nic nie czyni napróżno i skąd pochodzi cały porządek i piękno świata? W jakim celu istnieją komety i skąd pochodzi, że się wszystkie planety poruszają po kołach spółśrodkowych w jednym i tym samym kierunku, podczas gdy

komety w przeróżny sposób biegną po drogach nader ekscentrycznych? i co stoi na przeszkodzie gwiazdom stałym, iż nie poupadają na siebie wzajemnie? Jakim sposobem ciała ludzi i zwierząt zostały tak kunsztownie pomyślane i do jakiego celu służą ich części poszczególne? Czy oko zostało sporządzone bez biegłości w optyce, a ucho bez znajomości nauki o głosie? Jak się dzieje, że ruchy ciała są posłuszne woli i skąd pochodzi instynkt zwierząt? Czy siedlisko czucia w zwierzęciu nie znajduje się tam, gdzie się znajduje substancja czucia i dokąd doprowadzone są za pośrednictwem nerwów i mózgu dostrzegalne obrazy świata zewnętrznego, aby tam dojść do świadomości naszej dzięki swej bezpośredniej obecności w obrębie tej substancji?

I ponieważ wszystko to jest tak dobrze urządzone, to czy nie jest jasnem ze zjawisk natury, że musi istnieć niecielesna, żywa, inteligentna i wszechobecna istota, która w przestrzeni nieskończonej, świadomością swą przenika wszystkie rzeczy, aż do ich najbardziej ukrytych tajników i rozumie je całkowicie w swej bezpośredniej obecności. A o rzeczach tych do naszej ograniczonej świadomości dochodzą za pośrednictwem zmysłów tylko obrazy, które podlegają oglądowi i rozstrząsaniu ze strony tego, co w nas czuje i myśli. I chociaż każdy prawdziwy krok, uczyniony w tej nauce, nie prowadzi nas bezpośrednio do poznania pierwszej przyczyny, to jednak zbliża nas ku temu poznaniu i dlatego powinien być wysoko ceniony.

Od tych wielkich zagadnień powraca badacz do kwestji natury zjawisk świetlnych, wysuwając na pierwszy plan hipotezę ciałek świetlnych.

Pytanie 29. Czy promienie świetlne nie składają się z bardzo małych ciał, które są wysyłane przez substancje świecące? Gdyż ciała takie poruszałyby się w jednorodnym ośrodku po linjach prostych, nie zaginając się wewnątrz cienia, co właśnie leży w naturze światła. Mogą one też posiadać różne własności i zachowywać właści-

wości te niezmiennemi przy przejściu przez wiele ośrodków, co również zachodzi w przypadku promieni świetlnych. Ciała przezroczyste działają z odległości na promienie świetlne, załamując je, odbijając i uginając; i promienie odwrotnie działają na cząstki tych ciał z pewnej odległości, ogrzewając je; te działania i przeciwdziałania na odległość przypominają przecież nadzwyczajnie siłę przyciągania, występującą pomiędzy ciałami. Jeżeli załamanie zachodzi na skutek przyciągania promieni, to, jakeśmy pokazali w „Zasadach Filozofji" [I, tw. XCIV], sinus kąta padania musi być w danym stosunku stałym do sinusa kąta załamania; a doświadczenie potwierdza to prawo. Promienie, które ze szkła przechodzą w próżnię, ulegają zagięciu w stronę szkła; a gdy nadto ukośnie padają na próżnię, zostają skierowane z powrotem w szkło, ulegając całkowitemu odbiciu. Tego odbicia nie można przypisać oporowi próżni absolutnej; musi ono wynikać z przyciągającej siły szkła, która ściąga promienie zpowrotem w szkło przy ich wyjściu w próżnię. Jeżeli, bowiem, zwilżyć zewnętrzną powierzchnię szkła wodą, przezroczystą oliwą lub ciekłym jasnym miodem, to promienie, normalnie ulegające odbiciu, przechodzą w wodę, olej lub miód i nie odbijają się, dopóki nie dojdą do powierzchni granicznej, przez którą mają wyjść nazewnątrz. Jeżeli zaś promienie przechodzą w wodę, olej lub miód, zachodzi to dlatego, że przyciąganie przez szkło zostaje zrównoważone przez przyciąganie przeciwne cieczy i staje się niemal nieczynnem.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Aby powstały różnice w barwach i stopniu załamania, trzeba tylko, by promienie świetlne składały się z ciałek różnej wielkości. Z nich najmniejsze wytwarzają fiolet, najsłabszą i najciemniejszą z barw, która też najłatwiej może być odchylona od biegu prostolinjowego przez powierzchnie łamiące. Pozostałe ciałka, w miarę jak się stają coraz większe i większe, wytwarzają silniejsze i bardziej błyszczące barwy niebieską, zieloną, żółtą i czerwoną i coraz trudniej dają się odchylać.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Oddziaływanie materji ważkiej na ciałka świetlne wydaje się Newton'owi tem bardziej prawdopodobnem, że siły przyciągania spotykamy i w wielu innych zjawiskach: w elektryczności, magnetyzmie, ciążeniu powszechnem.

To, co nazywamy przyciąganiem, może przychodzić do skutku zapomocą impulsów lub na innej mniej nieznanej drodze. Używam tego słowa tylko na to, aby wogóle oznaczyć siłę, wskutek której

ciała dążą do siebie wzajemnie, jakakolwiek może być jej przyczyna. Wpierw musimy poznać ze zjawisk natury, jakie ciała przyciągają się wzajemnie i jakie są prawa i osobliwości tego przyciągania, zanim zapytamy o przyczyny, które sprawiają to przyciąganie. Przyciągania siły ciężkości, magnetyzmu i elektryczności sięgają na znaczne odległości i wskutek tego były obserwowane przez świat cały, lecz mogą też istnieć inne, które sięgają tylko na tak małe odległości, że uchodziły dotychczas dostrzeganiu; być może, iż przyciąganie elektryczne, nawet kiedy nie jest wywołane przez tarcie, sięga na takie małe odległości.

Przyciąganiu wzajemnemu przypisuje Newton reakcje chemiczne; była to myśl zupełnie oryginalna, którą autor rozwija szczegółowo, na setkach przykładów, wykazując, że dziedzina chemji była mu doskonale znana ze strony praktycznej. W dalszych pytaniach wyjaśnione są zapomocą przyciągania zjawiska włoskowatości i spójności.

W zakończeniu rozpatruje Newton doniosłość zasad ogólnych dla filozofji natury. Od tego tematu zbacza jednak często w dziedzinę metafizyki i idej religijnych, rozwijając spekulacje na temat budowy ciał i wpływu postępów nauk przyrodniczych na rozwój filozofji moralnej.

---

# DZIAŁ III.

# TEORJE ŚWIATŁA. ETER

## Rozdział IV.

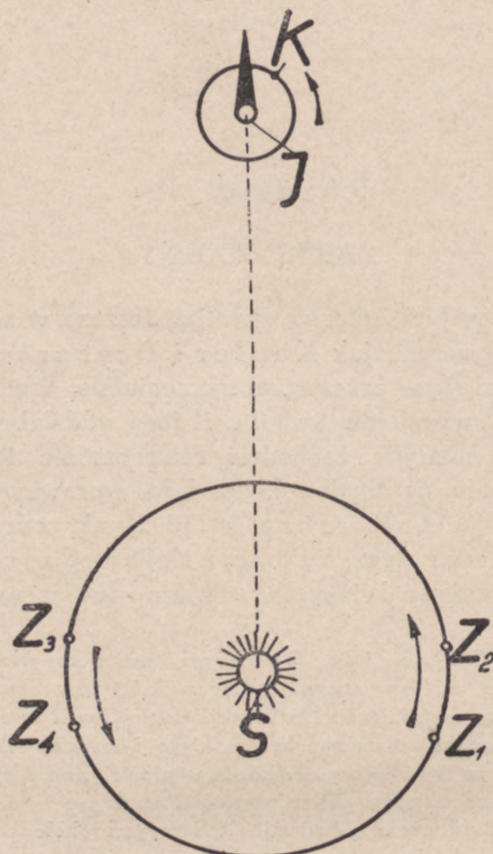
## ZARYS OGÓLNY.

**PRĘDKOŚĆ rozchodzenia się światła.** Jeszcze w wieku XVII-tym tak wybitni uczeni, jak Kepler i Descartes mniemali, że światło rozchodzi się w przestrzeni momentalnie. Według porównania Descartes'a, wysyłanie światła i jego oddziaływanie w innem jakiemś miejscu miałyby zachodzić równocześnie tak, jak równocześnie przesuwają się obydwa końce kija, wprawionego w ruch postępowy. Badania O. Römer'a (r. 1675) nie odrazu wszystkich przekonały. Römer wraz z Dominikiem Cassinim[1]) badali perjodyczność zaćmień księżyców Jowisza. Jowisz ma 4-ech satelli-

[1]) Giovanni Domenico Cassini, astronom włoski, już we Włoszech zajmował się, między innemi, badaniem księżyców Jowisza i ogłosił tablice, dotyczące tego zagadnienia. Do Francji wyemigrował w roku 1669. gdy mu zaofiarowano stanowisko astronoma królewskiego i członka Akademji Paryskiej. Interesującem jest, że trzej jego potomkowie w prostej linji z ojca na syna przejmowali stanowisko dyrektorów Obserwatorjum Paryskiego i, jako wybitni i dzielni uczeni, byli też członkami Akademji. Ród wygasł około połowy wieku XIX. Ostatni Cassini był botanikiem i umarł przedwcześnie.

Ole Römer (1644—1710), duńczyk, również był członkiem Akademji Paryskiej. Sprowadził Römera do Paryża Jan Picard, który poznał go w Danji podczas ekspedycji naukowej, mającej na celu dokładne wyznaczenie spółrzędnych obserwatorjum Tychona Brahe, znakomitego astronoma duńskiego. Obserwacje Brahe'go, posiadające niepospolitą wartość, zużytkowywano długi czas jeszcze po jego śmierci. Römer w Paryżu poświęcił się wraz z Cassinim obserwacjom zaćmień księżyców Jowisza, prócz tego jednak, jako zręczny, pomysłowy konstruktor, zajmował się też wieloma kwestjami technicznemi. Wraz z Marlym urządzał wodotryski w Wersalu, znalazł też, jaki kształt należy nadawać zębom kół, by osięgnąć najlepszy skutek mechaniczny; był również nauczycielem dauphin'a (następcy tronu). Badania Römera uczyniły jego imię sławnem. Już w roku 1675 proponowano mu objęcie katedry w Kopenhadze. Przeniósł się jednak do kraju ojczystego dopiero w r. 1681, po zniesieniu Edyktu Nantejskiego. W Kopenhadze, poza badaniami naukowemi, zajmował się też skutecznie działalnością praktyczną o charakterze zdumiewająco

tów. Zaćmienia ich są nader częste, mogą być obserwowane niemal codzień; spostrzeżenia mogą być dokonywane nawet zapomocą lunet




Rys. 54.
Zaćmienia księżyca Jowisza.

o słabem powiększeniu. Zjawiska te wydawały się interesujące tak ze stanowiska astronomicznego, jak i — czysto praktycznego. Nasu-

różnostronnym: był dyrektorem policji stołecznej i członkiem sądu najwyższego; położył wielkie zasługi na polu ujednostajnienia miar i wag w kraju, zajmował się sprawam celnemi, mennicą, oświetleniem ulic, polepszeniem środków komunikacyjnych, strażą pożarną Kopenhagi. Po śmierci pozostał po nim olbrzymi materjał obserwacyjny, którego większa część uległa później zniszczeniu podczas pożaru, a nieznaczna część przetrwała i w wieku XIX została opracowana przez astronoma Gallego w Berlinie. Pozostawił w obserwatojum 54 narzędzia, które przez niego były wynalezione i częściowo przezeń również sporządzone.

wała się myśl, że przy ściśle perjodycznym przebiegu zaćmień, mogłyby one stanowić rodzaj zegara dokładnego dla żeglarzy, pozwalającego zastąpić precyzyjny chronometr odpowiednio ułożonemi tablicami. Obserwacje zaćmień wykazały jednak, że przebieg ich nie jest prawidłowy. Część tych nieprawidłowości wynika z różnych czynników astronomicznych, np. z eliptyczności torów, część jednak — zdołali R ö m e r i C a s s i n i sprowadzić do wpływu skończonej prędkości rozchodzenia się światła. Wyobraźmy sobie układ ciał niebieskich, pokazany na schematycznym rys. 54. Rozważmy przebieg zaćmień najbardziej wewnętrznego księżyca *k*, który obiega Jowisza w ciągu czasu, równego w okrągłej liczbie 42.5 godziny. Przypuśćmy, że obserwator dostrzega zaćmienie w pewnym momencie, gdy ziemia znajduje się w pozycji $z_1$. Ponowne zaćmienie będzie miało miejsce po $42^1/_2$ godzinach; jednak w ciągu tego czasu ziemia przejdzie w pozycji $Z_1$ do pozycji $Z_2$. Droga $Z_1$ $Z_2$ *nie jest* wcale *mała*. Przeciętna prędkość ziemi w jej biegu po orbicie wynosi w okrągłej liczbie 30 km/sek. W ciągu $42^1/_2$ godzin droga przebyta przez ziemię wyniesie zatem ok. 4600000 kilometrów. Ponieważ ziemia idzie na spotkanie światła, więc obserwator dostrzeże zaćmienie wcześniej, niż — gdyby ziemia była nieruchoma i znajdowała się niezmiennie w pozycji $Z_1$. Gdy po półroczu ziemia znajdzie się po drugiej stronie orbity, przyczem obserwacje będą dokonywane w punktach $Z_3$ i $Z_4$, przy oddalaniu się ziemi okres zaćmień będzie się pozornie zwiększał. Pierwszy komunikat C a s s i n i e g o i R ö m e r a w Akademji Paryskiej wywołał sprzeciwy. Powątpiewania wzmogły się jeszcze, gdy we Włoszech dokonano pierwszego bezpośredniego pomiaru prędkości światła, posługując się metodą, wskazaną wcześniej jeszcze przez G a l i l e u s z a. Metoda polegała na następującem. W odległości około 8 kilometrów od siebie znajdowali się dwaj obserwatorzy, zaopatrzeni w zasłonięte latarnie. Obserwator *A* odsłaniał w pewnym momencie swoje źródło światła; dostrzegłszy światło towarzysza, obserwator *B* odsłaniał swoją latarnię. Z kolei *A*, widząc światło, miał zanotować chwilę ukazania się promieni powrotnych. Pomiary dały wynik negatywny. Czas pomiędzy wyjściem światła, a ukazaniem się drugiego blasku wahał się w granicy czasów niezbędnych na dokonanie manipulacyj przy latarniach. Gdy w roku 1675 R ö m e r, uzupełniwszy dawne obserwacje, podtrzymywał na posiedzeniu Akademji Francuskiej swe poprzednie wywody, znalazł już mniej licznych, niż za pierwszym razem, zwolenników. Między innymi oponował C a s s i n i.

Trudność zagadnienia uwydatni się, jeżeli zważyć rozbieżność liczb, jakie otrzymywali spółcześni Römerowi astronomowie na czas przebiegania przez światło średnicy orbity ziemskiej. Gdy według Römera czas ten miał wynosić 11 minut, według jego ucznia Horrebow'a 14 min. 7 sek., według Cassiniego 14 min. 10 sek., według Newtona 7 m. 30 sek. Te różnice nie mogły nie budzić wątpliwości co do wartości samej metody. Badania wieku XIX-go wykazały, że liczby Römera nie były dokładne, choć idea jego była zupełnie słuszna.

**Huygensa teorja falowa światła.** Chrystjan Huygens, genjalny holender, który był członkiem Akademji Francuskiej, podzielał całkowicie pogląd O. Römera, że światło ma choć bardzo dużą, lecz skończoną prędkość rozchodzenia się. Wynikało stąd, że światło w tym względzie różni się tylko ilościowo od zjawisk takich, jak głos, jak rozchodzenie się fal na powierzchni wody. Podobieństwo pomiędzy światłem a głosem uwydatnia się, według Huygensa, w tem również, że, jak głosy rozmaite mogą się ze sobą krzyżować w powietrzu, nie przeszkadzając sobie wzajemnie, tak też i promienie świetlne mogą biec w kierunkach przeciwnych, nie oddziaływując na siebie, co przecież stwierdzamy łatwo, patrząc komuś w oczy; wtedy, bowiem, obydwie osoby widzą się wzajemnie bez przeszkody najmniejszej. Rozwijając te myśli, tworzy Huygens podstawy naukowe falowej teorji światła [1]; według niej światło ma się rozchodzić w eterze, w którym są zanurzone molekuły ciał materjalnych. Falami w eterze tłumaczy Huygens prostolinjowy bieg światła, jego odbicie, załamanie, wreszcie skomplikowane zjawiska załamania podwójnego, których nikt przed nim nie potrafił rozwikłać. Wyjaśnienia dane przez Huygensa są nieco ogólnikowe [2], niewytrzymują czasem ścisłej krytyki,— jednak zawsze imponują spójnością, jednolitością, przemawiają żywo do wyobraźni. W chaosie faktów ustanawia Huygens ład i porządek. Eter Huygensa [3] ma być substancją bez porównania subtelniejszą

---

[1]) W „Traktacie o świetle", napisanym w roku 1678, ogłoszonym dopiero w roku 1690.

[2]) Szczególnie wyjaśnienie prostolinjowego biegu promieni jest mało przekonywujące.

[3]) Słowa „eter" używali już Grecy starożytni w swych mytach, w pieśniach Homera, w rozprawach filozoficznych. Eter Homera oznacza niebo, jako siedzibę Zeusa. Błękitną barwę sklepienia niebieskiego przypisywano eterowi. Fantazja

od powietrza, nader sprężystą. Zaburzenia w eterze mają się przekazywać w sposób przypominający przekazywanie ruchu przez rząd kul nader sprężystych, stykających się ze sobą. Gdy uderzymy pierwszą kulę, odskakuje ostatnia. Odkształcenie sprężyste jest przekazywane od kuli do kuli, przyczem powstają lokalne zgęszczenia. Fale świetlne H u y g e n s a przypominają mechanizmem swym fale głosowe.

Jednego wszakże zjawiska nie mógł H u y g e n s ująć w swój prosty schemat: przechodzenia światła przez dwa kryształy dwójłomne, umieszczone jeden za drugim (ob. str. 285). A priori wydaje się prawdopodobnem, że każdy z dwu promieni, otrzymanych po przejściu światła przez kryształ pierwszy, ponownie się rozdwoi, przechodząc przez kryształ drugi. Naogół taki właśnie przebieg promieni dostrzegamy rzeczywiście. Atoli przy pewnem ustawieniu kryształów promienie nie ulegają powtórnemu rozdwojeniu w drugim krysztale. Zjawisko, obserwowane przez H u y g e n s a, związane jest z polaryzacją światła, i istotnie nie może być wytłumaczone na gruncie fal podłużnych, któremi wyłącznie operował „Traktat o świetle".

**Teorja emisyjna Newtona.** N e w t o n w swej „Optyce", ogłoszonej w r. 1704, przyznaje teorji falowej światła wielkie zalety (p. str. 228 niniejszej książki), dostrzega jednak wielką trudność w wyjaśnieniu na gruncie jej założeń całokształtu zjawisk optycznych. Między innemi, nie widzi możności wytłumaczenia prostolinjowego biegu światła; powołuje się też na bezsilność H u y g e n s a w rozumieniu przechodzenia światła przez dwa kryształy spatu islandzkiego, umieszczone jeden za drugim, o czem pisaliśmy dopiero co wyżej. Dlatego też rozwija własną teorję, która otrzymała nazwę emisyjnej. Według niej światło składa się z małych ciałek, wyrzucanych przez świecące substancje. Dzięki swej bezwładności biegną ciałka świetlne po linjach prostych; oddziaływanie materji sprawia, że ulegają one uginaniu, gdy przechodzą blisko brzegów ekranu; siły wywierane przez molekuły ośrodków sprawiają również, że ciałka świetlne odbijają się i załamują. Ciałka są różnej wielkości zależnie od barwy; najmniejsze są fioletowe, gdyż najłatwiej dają się odchylać od biegu prostolinjowego i najsilniej się załamują; czerwone są największe. Widzimy, że teorja Newtona w sposób prosty i jasny, operując wyo-

---

starożytnych nadawała różną treść słowu eter; naogół, zawsze przeciwstawiano niebiański eter materji ziemskiej.

brażeniami łatwo dającemi się ująć w formy matematyczne, zdawała sprawę z zasadniczych własności światła. Trudno było natomiast na gruncie hipotezy ciałek świetlnych wytłumaczyć perjodyczność prążków jasnych i ciemnych, obserwowanych w pierścieniach Newtona, które się otrzymuje, przykładając do siebie dwie soczewki o bardzo małej krzywiźnie, niemal płaskie. Newton tłumaczył to zjawisko, wprowadzając przypuszczenie, że korpuskuły świetlne ulegają perjodycznie przystępom[1]) łatwego przechodzenia lub łatwego odbijania się. Trzeba przyznać, że to tłumaczenie wprowadzało zupełnie nową własność ciałek świetlnych, ad hoc stworzoną, nie wynikającą wcale z założeń podstawowych.

**Interferencja światła. Tomasz Young.** W całokształcie teorja Newtona była prostsza i jaśniejsza od teorji Huygensa. Dodajmy do tego potęgę autorytetu Newtona, a nie będziemy się dziwili, że w wieku XVIII-tym hipoteza emisyjna była powszechnie przyjęta. Dopiero w końcu tego stulecia wznowił, wskrzesił niejako, teorję falową Tomasz Young (1773—1829). Zasługa Younga polegała na tem, że dał on konsekwentne wyjaśnienie zjawisk uginania się światła i barw cienkich warstewek ze stanowiska teorji falowej, uwydatniając jednocześnie trudność rozumienia faktów z tej dziedziny na gruncie teorji Newtonowskiej. Young wprowadza pojęcie interferencji promieni świetlnych i posługuje się niem systematycznie.

**Badania Fresnela nad dyfrakcją.** Współcześnie z Young'iem i, zrazu niezależnie odeń, rozwija teorję falową we Francji Augustyn Fresnel, należący niewątpliwie do najgenjalniejszych fizyków wieku XIX-go. Fresnel bada ściśle rozkład prążków dyfrakcyjnych i znajduje, że teorja Younga jest niezupełnie zgodna z rzeczywistością. Nieścisłość teorji Younga widzi Fresnel w tem, że uwzględnia ona, np. w przypadku prążków, ukazujących się w głębi cienia cienkiego drucika, tylko oddziaływanie promieni brzegowych, oginających przegrodę, a pomija pozostałe. Fresnel zwraca uwagę, że na kształtowanie się zjawiska mają niewątpliwie wpływ promienie, wychodzące ze wszystkich części powierzchni falowej. Ujmując tę ideę we wzory matematyczne, stwierdza Fresnel własnemi doświadczeniami, że nowa teorja dyfrakcji zgadza się

---

[1]) Prof. Natanson używa terminu „usposobienie".

z najsubtelniej wykonanemi pomiarami. Rozprawa Fresnela otrzymuje nagrodę Akademji Paryskiej w okolicznościach niezwykłych. Przenikliwy Poisson[1]), wysnuwa z teorji, rozwiniętej w rozprawie, wniosek paradoksalny: jeżeli na linji łączącej punkt świecący ze środkiem małego otworu okrągłego obserwować promienie, przechodzące przez otwór, to w pewnych odległościach od otworu powinniśmy mieć ciemność zupełną, w innych jasność maksymalną. Wniosek przeczył intuicyjnym wyobrażeniom o rozchodzeniu się światła. Fresnel, pełen wiary i zapału, nie zawahał się przed próbą eksperymentalną i okazał, że zjawisko zachodzi zgodnie z przewidywaniem. Wrażenie było olbrzymie.

**Polaryzacja światła.** Tryumf teorji falowej był wielki, jednak — niezupełny. Rozległa dziedzina zjawisk polaryzacji światła, której szybki rozwój datuje tej właśnie epoki, nie znajdowała żadnego wytłumaczenia w założeniach teorji falowej, a w początkowym okresie, z powodzeniem dawała się ująć w systemat jednolity w założeniu, że Newtonowskie korpuskuły świetlne posiadają bieguny, centry oddziaływania sił materji na światło. Impuls do badań w tej nowej dziedzinie dało niespodziane odkrycia dokonane przez Stefana Ludwika Malus'a[2]), oficera wojsk Napoleońskich, rozmiłowanego w matematyce i fizyce. Bawiąc chwilowo w Paryżu w roku 1808, przygoto-

---

[1]) Siméon Denis Poisson (1781—1840), jak i przeważna część wielkich matematyków i fizyków francuskich tej doby, był uczniem Szkoły Politechnicznej, gdzie zwrócił na siebie uwagę Lagrange'a i Laplace'a. Był profesorem matematyki i mechaniki. Zostawił wielką liczbę ważnych prac z dziedziny matematyki czystej i fizyki matematycznej. Do najważniejszych należą jego badania teoretyczne w dziedzinie elektryczności i magnetyzmu.

[2]) Etienne Louis Malus (1775—1812) ukończył Szkołę Politechniczną w roku 1796; w tym samym roku został kapitanem. Otrzymał stanowisko w armji czynnej. Stojąc garnizonem w Giessen, zaręczył się tam z córką jednego z profesorów niemieckich. Niespodziany rozkaz przenosi go do Egiptu, gdzie się odznaczył tak pracami w dziedzinie inżynierji wojskowej, jak też badaniami naukowemi w dziedzinie matematyki i fizyki. Został mianowany członkiem „Institut d'Egypte". Mianowany komendantem miasta Jaffy, okazał wybitne talenty organizacyjne; w mieście wybucha dżuma, zabiera mnóstwo ofiar. Malus również ulega chorobie; niezwykłej sile woli i odporności zawdzięczał ocalenie, gdyż był przerzucany z lazaretu do lazaretu i napotykał wszędzie najokropniejsze warunki sanitarne. Po ciężkiej chorobie i licznych trudach wojennych powraca w roku 1801 do Francji; śpieszy niezwłocznie do Giessen, by poślubić narzeczoną. W roku 1808 za rozprawę o załamaniu podwójnem otrzymał nagrodę Akademji; w 1810 r. został członkiem Akademji.

wywał M a l u s rozprawę, którą zamierzał posłać na konkurs ogłoszony przez Akademję Paryską. Rozprawa dotyczyła matematycznej teorji załamania podwójnego. W związku ze swą pracą miał M a l u s w swem mieszkanku na rue d'Enfer kryształ spatu isladzkiego; pewnego wieczora patrzył przezeń na szyby pałacu Luksemburskiego oświetlone promieniami zachodzącego słańca. Obracając machinalnie kryształ w palcach, zauważył, że przy pewnych położeniach kryształu znikał to zwyczajny, to nadzwyczajny obraz szyb, otrzymywany zapomocą spatu. Słońce niebawem zaszło, i młody uczony nie mógł powtórzyć doświadczenia. Tej samej nocy dokonał dalszych odkryć. Używając jako źródła światła świecy i odbijając jej promienie od powierzchni wody w miednicy i od butelki szklanej, przekonał się, że zjawisko polaryzacji ujawnia się silnie przy odbiciu jakichkolwiek promieni świetlnych pod określonym kątem. W najbliższych miesiącach poznał M a l u s jakościowo i ilościowo dalsze szczegóły, dotyczące polaryzacji przy odbiciu światła.

Odkrycie M a l u s'a miało olbrzymie znaczenie dla rozwoju optyki. Przed nim znane było tylko doświadczenie z dwoma kryształami (str. 285). Mniemano naogół, że to kryształ dzięki symetrycznemu układowi cząsteczek nadaje promieniom nowe osobliwe własności; teraz przekonano się, że własności światła spolaryzowanego tkwią w samych promieniach, skoro zjawiska mogą być wytwarzane niezależnie od użycia kryształów. M a l u s sam zbudował przyrząd polaryzacyjny, który się składał z dwu zwierciadeł, bądź też jednego zwierciadła i kryształu spatu islandzkiego. Odkrycia następowały teraz szybko jedno po drugiem. Między innymi protektor i przyjaciel F r e s n e l a, A r a g o [1]), stwierdził, że cienkie płytki krystaliczne, umie-

---

[1]) D o m i n i k F r a n c i s z e k A r a g o (1786—1853) w 17-tym roku życia wstąpił do Szkoły Politechnicznej. Już w drugim roku studjów przeszedł do Obserwatorjum Paryskiego na pomocnika B i o t'a, z którym wspólnie pracował nad załamaniem światła w gazach. W roku 1806 staraniem M o n g e'a został przydzielony do ekspedycji naukowej, która miała na celu pomiary długości południka w Hiszpanji. W następnym roku B i o t wraca do Francji. A r a g o pozostaje na Majorce, by dokończyć niektórych prac. Wybucha wojna pomiędzy Francją a Hiszpanją. Wzburzona ludność wyspy widzi w uczonym francuskim szpiega; przebierając się za chłopa, ratuje on papiery i narzędzia. Oddaje się w ręce kapitana okrętu hiszpańskiego, który go więzi, by uchronić go od zemsty tłumu. Otrzymuje pozwolenie na przejazd do Algieru, wpada w ręce korsarzy; potem znów w Algierze jest niewolnikiem tamtejszego władcy. Po nieprawdopodobnych wręcz przygodach powraca A r a g o w r. 1809 do Francji, przywożąc z sobą ocalone materjały naukowe. Świat naukowy przyjmuje go z otwartemi rękoma; w 23-cim

szczone w przyrządzie polaryzacyjnym, dają przepyszne barwy (A r a g o nazwał to zjawisko polaryzacją chromatyczną), przypominające zupełnie barwy cienkich warstewek; dalej wykrył zjawisko skręcania płaszczyzny polaryzacji. Badanie kryształów w świetle spolaryzowanem ujawniło mnóstwo ciekawych prawidłowości, dało olbrzymi materjał empiryczny, który chwilowo tworzył chaos faktów, a wpłynął decydująco na dalszy rozwój teorji.

Już M a l u s, choć naogół nie wysuwał hipotez na plan pierwszy, trzymał się teorji N e w t o n a i bardzo pomysłowo wyjaśnił zachowanie się promieni odbitych, zakładając, że przy odbiciu pod określonym kątem korpuskuły świetlne ustawiają się regularnie swemi osiami w płaszczyźnie padania, dzięki czemu promienie okazują odrębną symetrję. Na końcach osi molekuł miały się znajdować bieguny, poddane działaniu sił; stąd też wzięła się nazwa polaryzacji (franc. pôle — biegun). Dalszem przystosowaniem teorji emisyjnej do wyjaśnienia zjawisk w kryształach zajęli się uczeni tej miary, co L a p l a c e, B i o t. Teorja emisyjna w ich ręku okazała się narzędziem nader podatnem; duży obszar zjawisk, zwłaszcza w okresie początkowym badań nad polaryzacją, znalazł niewymuszone tłumaczenie w teorji N e w t o n o w s k i e j; zwolenników teorji falowej ogarniało zwątpienie.

---

roku życia zostaje członkiem Akademji Paryskiej, cesarz mianuje go profesorem analizy i geodezji w Szkole Politechnicznej. W latach późniejszych wykłada A r a g o również astronomję. Wykłady jego zwracały na siebie uwagę tak francuskich, jak i cudzoziemskich uczonych, gdyż posiadał on wyjątkowy dar łączenia ścisłości z prostotą i przystępnością. W roku 1830 został A r a g o sekretarzem wieczystym Akademji. Na tem stanowisku oddał nauce wielkie usługi, nawiązując korespondencję z całym zastępem uczonych, poruszając aktualne zagadnienie naukowe, wysuwając nowe plany i pomysły. On, naprzykład, pierwszy podał myśl zmierzenia prędkości światła w wodzie; jego plan właśnie, modyfikując go znacznie, zrealizował F o u c a u l t; za jego namową podjęli F i z e a u i F o u c a u l t (początkowo wspólnie) pomiary prędkości światła, korzystając z jego poparcia, rad, wskazówek. A r a g o był świetnym mówcą i popularyzatorem zupełnie wyjątkowego talentu. Gdy miał przemawiać w Akademji, ujmując syntetycznie jakieś zagadnienie, tłumy publiczności czekały swej kolejki już na dwie godziny przed posiedzeniem. Z prac oryginalnych A r a g o najważniejszemi były badania nad barwami cienkich płytek krystalicznych w świetle spolaryzowanem i nad prądami indukcyjnemi. Brał też A r a g o czynny udział w wydarzeniach politycznych swego czasu, występując zawsze po stronie tendencyj wolnościowych. Posiadał duże wpływy, z których korzystał, by popierać młode, torujące sobie drogę talenty. Gorące serce, umysł zapalny, bezinteresowność i brak zawiści pociągały ku niemu młodych badaczy.

**Poprzeczność fal świetlnych.** W roku 1816 Fresnel zajął się badaniem interferencji promieni spolaryzowanych; — z początku pracował nad tem zagadnieniem sam, potem przyłączył się doń Arago, co niewątpliwie było korzystne dla sprawy. Wyniki, otrzymane przy oddziaływaniu wzajemnem promieni spolaryzowanych w płaszczyznach względem siebie prostopadłych, nasunęły Fresnelowi myśl, że wszystko dałoby się wytłumaczyć na gruncie hipotezy fal w założeniu, że drgania eteru są nie podłużne, lecz poprzeczne. Nowe przypuszczenie wydawało się tak paradoksalnem, że Fresnel nie odrazu zdecydował się na analizowanie faktów z tego stanowiska. Trudność polegała na tem, że według teorji sprężystości drgania poprzeczne mogą powstawać tylko w ośrodkach stałych. Czyż można było przypuścić, że eter wszechświatowy, w którym się poruszają bez przeszkód ciała niebieskie, jest ośrodkiem stałym? W tym samym czasie podobne myśli nasuwały się też Tomaszowi Youngowi. W artykule do Encyklopedji Brytyjskiej, nie ośmielając się pisać o drganiach poprzecznych, wprowadzał drgania ukośne, które miałyby oczywiście, tak składową poprzeczną, jak i podłużną. Zapoznając się wciąż z nowszemi faktami z dziedziny optyki kryształów, Fresnel nabierał coraz głębszego przeświadczenia o poprzeczności fal świetlnych. W roku 1822 wysunął już otwarcie ten pogląd, jako podstawę pojmowania zjawisk. W latach następnych pokazał, że całokształt faktów optyki ciał izotropowych i aninotropowych daje się ująć w jedną harmonijną całość ze stanowiska fal poprzecznych. Teorja Fresnela miała taką przewagę względnej prostoty i jednolitości nad teorją emisyjną, że ostatnia szybko traciła zwolenników, tembardziej, że w miarę wykrywania nowych faktów wypadło przypisywać korpuskułom świetlnym coraz to nowe, i coraz to dziwniejsze właściwości, gdy w teorji falowej wszystkie fakty wiązały się z koncepcją zasadniczą.

**Ostateczne zwycięstwo teorji falowej.** Jakeśmy już wspominali, Newton tłumaczył załamanie światła przy przejściu promieni z próżni do ośrodka materjalnego przyciąganiem korpuskułów przez materję. Wskutek działania sił przyciągających prędkość ciałek świetlnych musiała wzrastać i dla zwoleników teorij emisyjnej nie ulegało wątpliwości, że prędkość światła w wodzie, np., jest *większa*, niż w próżni lub, ewentualnie, w powietrzu. Już Huygens wykazał, że teorja fal prowadzi do wniosku wręcz przeciwnego; według

niej załamanie fal zachodzi dlatego, że w ośrodkach takich jak woda, szkło i t. d. prędkość rozchodzenia się światła jest *mniejsza*, niż w próżni. W roku 1850 stwierdził Foucault doświadczalnie, że prędkość światła w wodzie jest mniejsza, niż w powietrzu. Ten pomiar był ostatniem i ostatecznem zwycięstwem teorji falowej w wieku XIX-ym; zresztą w okresie pomiarów Foucault'a teorja emisyjna nie miała już zwolenników.

**Eter. Teorja elektromagnetyczna światła.** Teorja optyki, stworzona przez Fresnela, była niedoskonała ze stanowiska mechaniki, gdyż posługiwała się pojęciem drgań sprężystych poprzecznych w eterze, gdy tymczasem wiadomo, że w zwykłym ośrodku sprężystym muszą powstawać fale zarówno poprzeczne, jak i podłużne, których optyka nie zna. Pomijając tę trudność zasadniczą, napotykano wielkie trudności teoretyczne w wytłumaczeniu przechodzenia fal świetlnych z jednego ośrodka w drugi. Nadaremnie siliły się najwybitniejsze umysły wieku XIX nad koncepcją ośrodka, dającego się pomyśleć mechanicznie, którego własności prowadziłyby do praw optyki. Model mechaniczny eteru świetlnego pozostał utopją.

Nic się też w tym względzie nie zmieniło, gdy Maxwell koło roku 1860 stworzył teorję elektromagnetyczną światła. Maxwell uogólnił prawa elektrodynamiki i w ten sposób doszedł do swych dwu podstawowych równań. Równania Maxwella w gruncie rzeczy wyrażają prawa znane: pierwsze równanie mówi o tem, że naokoło prądu elektrycznego istnieje pole magnetyczne[1]), drugie głosi, iż zmienne pole magnetyczne wytwarza siły elektromotoryczne indukcji. Nowatorstwo Maxwella polegało na tem, że wprowadzał on t. zw. prądy przesunięcia w próżni i w dielektrykach, gdzie przecież prądów w zwykłem znaczeniu tego słowa nie obserwujemy. Ta strona teorji Maxwella ani przez niego, ani przez następców nigdy nie została należycie umotywowana. Wobec tego, jak zauważył Henryk Hertz, teorja Maxwella to — układ równań Maxwellowskich, który najlepiej przyjąć bez dowodów, jako uogólnienie i rozszerzenie praw znanych z doświadczenia. Z równań Maxwellowskich wynika, że w próżni i w dielektrykach mogą się swobodnie rozchodzić fale elektromagnetyczne, polegające na tem, że natężenie pola

---

[1]) Chętnie użylibyśmy zwrotu, że naokoło prądu powstaje wir pola magnetycznego; jednak zwrot taki nie byłby zupełnie ścisły.

elektrycznego i natężenie pola magnetycznego ulegają perjodycznym zmianom w czasie i przestrzeni na podobieństwo zmian, którym podlegają w falach mechanicznych wychylenia cząsteczek.

Teorja Maxwellowska nie budziła entuzjazmu, dopóki Henryk Hertz nie wykazał doświadczalnie, że fale elektromagnetyczne naprawdę istnieją. Eksperymenty dowiodły, że podlegają one prawom optyki, dając zjawiska odbicia, załamania zwykłego i podwójnego, interferencji i polaryzacji. Od fal Hertza, zmniejszając stopniowo długość fali, można przejść do fal znajdujących się w podczerwieni. Podczerwień przechodzi stopniowo w światło widzialne, na które reaguje nasz wzrok. Doświadczalnie jest więc rzeczą niewątpliwą, że światło jest zjawiskiem elektromagnetycznem.

Dziś więc optyka stanowi, logicznie biorąc, jeden z rozdziałów elektrodynamiki. Zamiast równań teorji sprężystości, należy stosować równania elektrodynamki. Prawa Fresnel'a, jego genjalne konstrukcje geometryczne pozostały niezmienione; tylko interpretacja uległa zmianie: gdzie mówiono o drganiach eteru, dziś się mówi o drganiach wektora elektrycznego. Wprowadzenie teorji elektromagnetycznej na miejsce teorji sprężystej usunęło dużo trudności: poprzeczny charakter fal jest naturalny, gdyż wynika z założeń zasadniczych; wyjaśnienie przechodzenia fal z jednego ośrodka do drugiego również nie nastręcza trudności. Równania podstawowe, wyjściowe, zawierają tylko wielkości, dostępne pomiarom elektrycznym i magnetycznym; po przekształceniu równań okazuje się, że prędkość rozchodzenia się zaburzeń elektromagnetycznych w próżni powinna być równa liczbowo stosunkowi jednostki ładunku elektrycznego w układzie elektromagnetycznym do tejże jednostki w układzie elektrostatycznym. Jeżeli fale świetlne są zaburzeniem elektromagnetycznem, prędkość ich powinna się równać stosunkowi jednostek. Okazuje się, że to przewidywanie zgadza się z całą ścisłością z faktami (p. str. 144). Czyż potrzebny jest jeszcze bardziej przekonywujący dowód, że te dwie dziedziny stanowią w gruncie rzeczy jedną łączną całość? Tak został osiągnięty jeden z największych postępów w dziedzinie nauki: rzeczy dla naszych zmysłów zgoła nieporównywalne, dla intuicji naszej zupełnie odmienne, powiązano ze sobą ściśle, odsłaniając jeden z najgłębszych tajników natury.

Nie posunięto się jednak przez to naprzód w tłumaczeniu mechanicznem zjawisk optycznych. Prawda, że pracowano w wieku XIX-tym, zwłaszcza w Anglji, usilnie nad interpretacją mechaniczną zjawisk

elektromagnetycznych. W poszczególnych przypadkach stworzono pomysłowe modele mechaniczne, przedstawiające przebieg zjawisk. Nigdy jednak nie udało się wymyślić maszynerji, któraby zadawalająco ilustrowała całokształt zjawisk, zachodzących w polu elektromagnetycznem. To też wprowadzenie elektromagnetycznej teorji światła nie dopomogło w zrozumieniu własności eteru. Stało się tylko jasnem, że w tym samym eterze rozchodzą się i działania elektromagnetyczne, i fale świetlne.

Pierwotna teorja Maxwella znała tylko materję ciągłą. Uzupełniono ją, wprowadzając pojęcia atomistyczne, uwzględniając dalej to, że, jak się stało jasnem w końcu wieku XIX-tego, atomy składają się z mniejszych cząstek, posiadających ładunki dodatnie i ujemne. Szczególnie ujemne ładunki, występujące w elektronach, odgrywają ogromną rolę w zjawiskach optycznych. Powstała w ten sposób teorja elektronowa, którą najwszechstronniej rozwinął teoretyk holenderski H. A. Lorentz[1]). Teorja elektronowa, między innemi, pozwoliła zrozumieć dyspersję światła, której nie przewidywała teorja maxwellowska, doprowadziła do wykrycia rozszczepienia linij widmowych pod wpływem działania pól magnetycznych (zjawisko Zeemana), zapoczątkowała wyjaśnienie własności optycznych metali, — jednem słowem, w wielu razach dała klucz do zrozumienia własności optycznych materji.

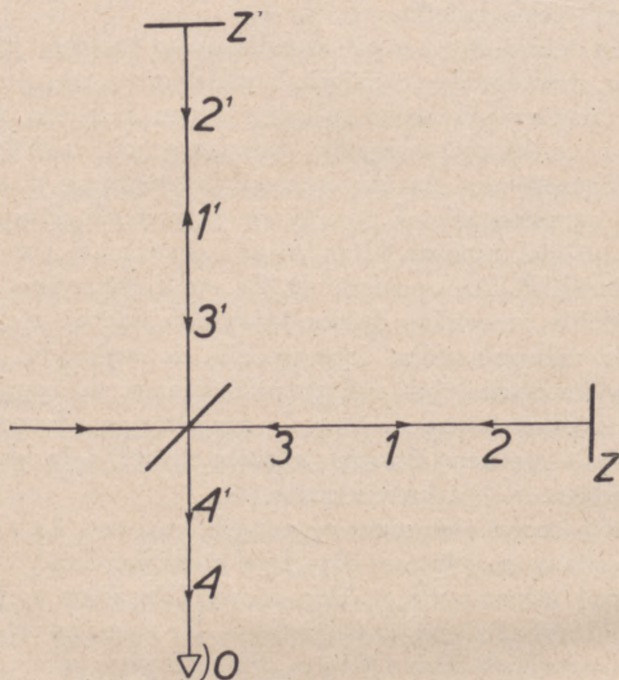
Na gruncie teorji elektronowej popróbował też Lorentz rozstrzygnąć pytanie zasadnicze, dotyczące eteru wszchświatowego, mianowicie, czy i, ewentualnie, w jakim stopniu bierze on udział w ruchu ciał materjalnych. Pytanie to nasunął już Fresnelowi zawsze pełen nowych, wielkich idej Arago. Fresnel w pracy, ogłoszonej w roku 1818, stanął na stanowisku, że eter jest zasadniczo nieruchomy; że wszakże w przypadku ruchu ciał materjalnych, wewnątrz których gęstość eteru jest większa, niż w próżni, nadwyżka eteru unoszona jest przez ośrodek materjalny. Z teorji Fresnela wynikało, że ciało przezroczyste, np. woda, poruszając się, będzie unosić ze sobą częściowo światło; pięknem doświadczeniem potwierdził

---

[1]) Henryk Antoni Lorentz (1853—1928), fizyk holenderski, od roku 1878 był profesorem fizyki teoretycznej w Lejdzie. W ostatnich latach życia piastował urząd honorowego profesora tegoż uniwersytetu. Ogłosił liczny szereg rozpraw z dziedziny fizyki teoretycznej. Dla nauki największe znaczenie miała jego teorja elektronowa, ujmująca w jedną całość zjawiska elektromagnetyczne i optvczne.

później Fizeau słuszność przewidywań Fresnela i okazał, że fale świetlne są unoszone przez materję ściśle w tym stopniu, jak to obliczył Fresnel teoretycznie.

W pracach Fresnela znalazł też punkt wyjścia H. A. Lorentz. Zakłada on w swej teorji optyki ciał poruszających się, że eter wszechświatowy jest całkowicie nieruchomy. Materja ma unosić fale świetlne dzięki poruszającym się wraz z nią ładunkom elektrycz-




Rys. 55.
Schemat biegu promieni w interferometrze Michelsona.

nym. Budując na tych podstawach teorję, zdołał Lorentz wytłumaczyć ilościowo wszystkie fakty znane, — między innemi, doświadczenia Fizeau. Teorja jego załamała się wszakże na doświadczeniu Michelsona, które scharakteryzujemy tu krótko, choć zostało ono dokładnie omówione dalej. Myśl przewodnia tego doświadczenia jest następująca: jeżeli eter jest nieruchomy, a ziemia porusza się w nim, nie napotykając oporu, jasnem jest, że eter przechodzi swobodnie przez materję, jak woda przez sito. W biegu ziemi poprzez eter nieruchomy powstaje rodzaj wiatru eteru, analogicznie do wiatru, który odczuwamy, gdy w dzień bezwietrzny

mkniemy szybkiem autem. Wyobraźmy sobie teraz dwa promienie świetlne: jeden biegnący po linji, wzdłuż której porusza się ziemia, i wystawiony na działanie wiatru eterowego, drugi — prostopadły do linji ruchu ziemi. Jasnem jest, że te dwa promienie znajdują się w różnych warunkach i że okoliczność ta powinnaby się dać ujawnić przy stosowaniu metod dostatecznie subtelnych. Michelson używa przyrządu schematycznie przedstawionego na rysunku 55. Źródło światła wysyła promienie poziomo; promienie padają na zlekka posrebrzaną, wpółprzezroczystą szybę, która część promieni przepuszcza, a część odbija ku górze. Zwierciadła płaskie $Z$ i $Z'$ odbijają zpowrotem promienie, które na nie padają; cyfry wskazują bieg promieni; w drodze powrotnej promienie znów częściowo przechodzą przez szybę $S$, a częściowo się od niej odbijają. Promienie 4 i 4′ interferują ze sobą; obserwator $O$ widzi prążki. Całe urządzenie optyczne było ustawione na płycie kamiennej, pływającej na rtęci; dzięki temu, przyrząd można było swobodnie obracać koło osi pionowej tak, by z pomiędzy dwu względem siebie prostopadłych promieni, biegnących ku zwierciadłom $Z$ i $Z'$, kolejno to jeden, to drugi znajdował się na linji ruchu ziemi. Elementarne obliczenie pokazuje, że prążki powinny były ulec przesunięciu. Doświadczenie jednak dało wynik bezwzględnie ujemny. Prążki, praktycznie biorąc, pozostawały nieruchome. Doświadczenie Michelsona powtarzano wielokrotnie, zmieniając warunki, doskonalając aparaturę; zawsze jednak — bez skutku.

Aby podtrzymać teorję eteru nieruchomego, wprowadza Lorentz (równocześnie z nim Fitz-Gerald) nowy nieoczekiwany czynnik. Zakłada, że ciało sztywne, poruszające się ruchem prostolinjowym, ulega skróceniu w kierunku swego ruchu. Skrócenie jest tego rodzaju, że właśnie kompensuje działanie „wiatru eterowego". Dzięki skróceniu, efekt ruchu ziemi nie ujawnia się.

Na pierwszy rzut oka kontrakcja Fitz-Geralda wydaje się i sztucznym i absurdalnym pomysłem. Kiedy się jednak rozważy sprawę dokładniej, dostrzega się, że hipoteza jest tylko dlatego niemiła, że została wytworzona ad hoc, dla ocalenia teorji. Skrócenie przedmiotów w kierunku ruchu przedewszystkiem ma być bardzo niewielkie. Oznaczmy przez $v$ prędkość ruchu ciała sztywnego, a przez $c$ — prędkość światła. W takim razie linja o długości $l$, poruszając się w kierunku swej długiej osi, przybierze długość

$$l \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Naogół wszystkie prędkości $v$, które potrafimy nadać ciałom, są niezmiernie małe w porównaniu z prędkością światła $c$; kwadrat stosunku $v/c$ będzie tak mały, że praktycznie nigdy nie będzie wchodzić w rachubę. Ze zjawisk mechanicznych największą prędkością odznacza się ruch ziemi na jej orbicie; wynosi on okrągło 30 km/sek. Stosunek $v/c$ w tym przypadku $= 10^{-4}$, a skrócenie stanowi $0.5 \times 10^{-8}$ długości pierwotnej. Bez trudu obliczymy, że skrócenie średnicy ziemi, wywołane przez jej ruch, nie przeniesie 6.4 cm. Tego skrócenia nawet w najidealniejszych warunkach pomiaru nigdybyśmy nie mogli wykazać; albowiem, mierząc, posługujemy się zawsze pewną sztabą, którą uważamy za wzorzec i porównywamy długość danego przedmiotu z długością wzorca. Skoro jednak przystawimy wzorzec do przedmiotu, który uległ kontrakcji, i sam wzorzec w tym samym stosunku skróci się, dzięki czemu wynik pomiaru będzie taki sam, jak gdyby obydwa ciała pozostawały w spoczynku[1]).

Lorentz uzasadnił też kontrakcję fizycznie. Wiadomo, że atomy i molekuły składają się z cząsteczek naelektryzowanych i wydaje się niewątpliwem, że siły spójności i sprężystości są charakteru elektromagnetycznego. Cząstki naelektryzowane, znajdując się w ruchu, wytwarzają odmienne pole elektromagnetyczne, niż w spoczynku. Staje się zrozumiałem, że i siły spójności w ruchu muszą ulec zmianie, a zatem i wymiary ciał mogą się zmienić.

**Teorja względności.** Gdy w rozumowaniu Lorentza skrócenie zjawia się jako nieoczekiwany czynnik, służący specjalnie do wytłumaczenia wyniku doświadczenia Michelsona, w teorji względności niemożność wykrycia ruchu postępowego ziemi jakiemkolwiek doświadczeniem tkwi w założeniach zasadniczych, z których też wszystkie fakty z dziedziny optyki ciał poruszających się wypływają w sposób naturalny. Na tem polega niezaprzeczona wyższość teorji względności nad teorją Lorentza.

---

[1]) Dla lepszego uprzytomnienia sobie sprawy, czytelnik zechce rozważyć następujący przykład. Przypuśćmy, że prawdziwa, pierwotna długość ciała, poruszającego się, wynosi 1 metr. Wskutek ruchu ulega ona skróceniu o $^1/_{100}$, tak że długość jego wynosić będzie tylko 99 cm. Używamy do pomiaru miarki centymetrowej. Skoro ją położymy wzdłuż ciała badanego, każdy centymetr skróci się o $^1/_{100}$, i odstęp pomiędzy kreskami wynosić będzie tylko 0,99 cm. Na 99 centymetrach naszego przedmiotu pomieści się sto podziałek naszej skali Wynik pomiaru nie pozwoli zatem dostrzec skrócenia przedmiotów.

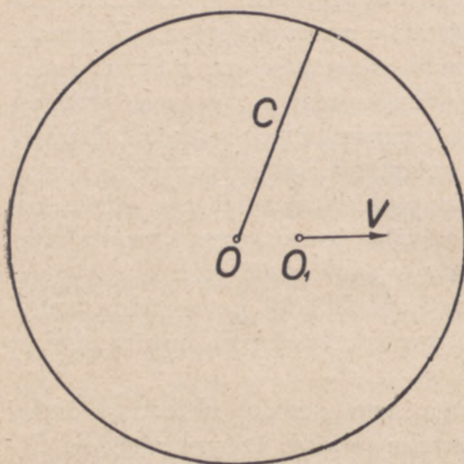
Myśli przewodnie teorji względności[2]) dadzą się łatwo przedstawić. Zasada względności Galileusza znana jest oddawna w mechanice. Polega ona na tem, że w układzie, poruszającym się ruchem jednostajnym prostolinjowym, wszystkie zjawiska mechaniczne odbywają się tak samo, jak i w układzie spoczywającym. Słuszność tej zasady łatwo poprzeć przykładami, zaczerpniętemi z życia. Jeżeli pomiędzy stacjami pociąg biegnie jednostajnie po równych, prostych szynach, podróżny żadnemi doświadczeniami mechanicznemi nie jest w stanie wykryć ruchu pociągu: i uderzenia kul sprężystych, i ruch wahadła, i doświadczenie z równią pochyłą przebiegają ściśle tak samo, jak w spoczynku. Warunek ruchu jednostajnego prostolinjowego lepiej jeszcze jest spełniony na wielkich okrętach transoceanicznych, gdy płyną w dni ciszy po gładkiej powierzchni wody. Wszelkie gry sportowe udają się wtedy nie gorzej, niż na lądzie stałym.

Nie znamy w obrębie dostępnego nam świata układu, któryby pozostawał w bezwzględnym spoczynku. Wobec tego właściwem będzie następujące sformułowanie zasady względności Galileusza: we wszystkich układach, poruszających się względem siebie ruchem jednostajnym prostolinjowym, zjawiska mechaniczne przebiegają zupełnie jednakowo. Zasada względności Einsteina uogólnia zasadę, znaną w mechanice. Głosi ona, że *wszelkie zjawiska fizyczne* w układach, poruszających się względem siebie ruchem jednostajnym prostolinjowym, powinny przebiegać jednakowo; dodatkowo podkreśla zasada względności fakt, że prędkość światła jest we wszystkich układach jedna i ta sama, zupełnie niezależnie od kierunku, w którym ją badamy. Na pierwszy rzut oka uogólnienie powyższe wydaje się nam naturalne i nader pożądane. Dlaczegóżby właśnie mechanika miała być dziedziną wyjątkową? Przecież siły natury muszą stanowić jedną całość! Przekonywamy się jednak niebawem, że założenia nasze, szczególnie przypuszczenie, że i pomiar prędkości światła powinien wypadać zawsze jednakowo, niezależnie od ruchu obserwatora, prowadzą do nieoczekiwanych, zupełnie paradoksalnych wniosków. Wyobraźmy sobie nieruchomy punkt $O$ (rys. 56) i punkt $O_1$, związany z układem, poruszającym się ruchem prostolinjowym i jednostajnym. W pewnej chwili, gdy $O_1$ przechodzi przez $O$, z tego ostat-

---

[2]) Mamy tu na myśli szczególną teorję względności, dotyczącą ruchów jednostajnych, prostolinjowych.

niego punktu wychodzi sygnał świetlny. Światło biegnie w przestrzeń, wytwarzając powierzchnię falową kulistą o promieniu $c$. Obserwator, znajdujący się w $O_1$, porusza się w kierunku fali świetlnej. Oczywistem jest, że czoło fali ucieka od niego z prędkością $c-v$. Jakże więc wykonany przezeń pomiar prędkości światła może dać ten sam wynik $c$, który się otrzymuje i w układzie nieruchomym?




Rys. 56.
Światło wychodzi z nieruchomego punktu $O$; obserwator $O_1$ porusza się z prędkością $V$.

Badanie matematyczne pokazuje, że to jest możliwe, jeżeli się założy, iż w układzie ruchomym miary ulegają skróceniu Lorentza-Fitz-Geralda, a prócz tego, — że bieg zegarów w układzie ruchomym jest inny, niż w układzie nieruchomym, że każdy układ posiada sobie właściwy bieg czasu, że niema czasu bezwzględnego, który był podstawą mechaniki klasycznej. Relatywizm czasu stanowi najbardziej charakterystyczną cechę teorji Einsteina (p. jeden z dalszych rozdziałów).

**Teorja względności a eter.** — Teorja względności nie da się pogodzić z wyobrażeniem o eterze, jako ośrodku, posiadającym cechy materjalne, zwłaszcza gdybyśmy chcieli sobie wyobrażać eter jako środowisko w różnych swych częściach niezupełnie jednorodne, mogące podlegać odkształceniom. Pomyślmy sobie szereg układów $U_1$, $U_2$, $U_3$..., poruszających się względem siebie ruchami jednostajnemi prostolinjowemi. Eter musimy sobie wyobrazić, jako ośrodek, związany z jednym z tych układów nieruchomo. Gdybyśmy, bowiem, wyobrazili sobie eter, jako środowisko absolutnie nieruchome, w tej chwili moglibyśmy ulokować w niem absolutnie nieruchomy układ spółrzędnych $U_0$. Tak czy inaczej, eter byłby nieruchomo związany z jednym z układów odniesienia $U$. Układ ten wyróżniałby się z pomiędzy innych tą właśnie cechą; tymczasem teorja względności żąda, by wszystkie układy $U$ były zupełnie równowartościowe, zważywszy ściśle identyczny przebieg zjawisk fizycznych w tych ukła-

dach. Przypuścić, że każdy z układów $U_1$, $U_2$, $U_3$... posiada swój własny względem niego nieruchomy eter, byłoby absurdem. Wobec tego eter należy skreślić z liczby terminów naukowych.

Z biegiem czasu stanowisko relatywistów względem eteru uległo złagodzeniu. Przytaczamy tu ustęp, wzięty z książki A. S. Eddingtona[1]), znakomitego astronoma angielskiego, wielkiego zwolennika relatywizmu, posiadającego wyjątkowy autorytet w tych kwestjach.

„...Nie znaczy to, że eter został zniesiony. Eter jest nam potrzebny. Nie należy rozkładać świata fizycznego na izolowane cząstki materji lub elektryczności, poprzedzielane przestrzenią, pozbawioną wszelkich cech. Tej przestrzeni oddzielającej musimy przypisać taką samą odrębność, jak i cząsteczkom; w fizyce doby obecnej potrzeba całej armji symboli, by opisać, co zachodzi w przestrzeni międzycząsteczkowej. Wysuwamy postulat eteru, któryby miał właściwości przestrzeni oddzielającej, podobnie jak uważamy za postulat istnienie materji lub elektryczności, niosących cechy cząsteczek. Filozof zapyta może, czy nie dałoby się założyć istnienia samych cech bez tworzenia wyobrażeń, iż coś jest nośnikiem tych cech; tym sposobem pozbylibyśmy się za jednym zamachem i eteru, i materji. Lecz to jest raczej inna sprawa.

W ostatniem stuleciu szeroko był rozpowszechniony pogląd, że eter jest rodzajem materji, posiadającej takie własności, jak masa, sztywność, ruch, — właśnie takie, jak zwykła materja. Trudno byłoby powiedzieć, kiedy ten pogląd wymarł. Prawdopodobnie utrzymywał się on w Anglji dłużej, niż na kontynencie, lecz nawet tu, myślę, przestał być poglądem prawomyślnym na parę lat przed nadejściem teorji względności. Ze stanowiska logicznego porzucili go ci liczni badacze dziewiętnastego wieku, którzy uważali materję za eterowe wiry, supły, wytryski i t. p.; bo, rzecz jasna, nie mogli przecież przypuszczać, że eter polega na wirach w eterze. Lecz byłoby może niebezpiecznem przypuszczać, że ci, którzy uchodzili za autorytety w tej sprawie, byli logiczni.

Obecnie istnieje zgoda na to, że eter nie jest rodzajem materji. Ponieważ nie jest materjalny, posiada własności *sui generis*. Musimy je określić eksperymentalnie; a ponieważ nie mamy podstaw do żadnych koncepcyj zgóry powziętych, wnioski eksperymentalne możemy przyjąć bez zdziwienia i obawy. Cechy takie, jak masa i sztywność, które spotykamy w materji, nie będą istniały w eterze; lecz

---

[1]) „The nature of the physical world", Cambridge, 1929, str. 31.

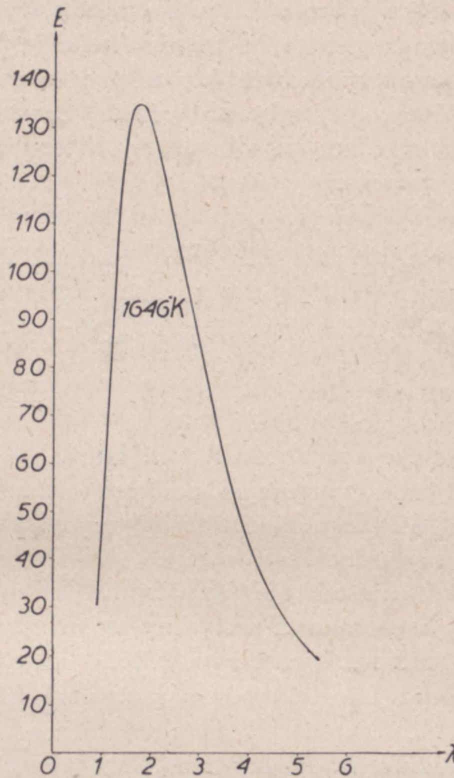
eter będzie miał cechy nowe i określone, jemu tylko właściwe. W oceanie materjalnym możemy powiedzieć, że dana cząsteczka wody, która była tu przed kilku chwilami, teraz jest tam oto; tego rodzaju rzeczy nie można twierdzić o eterze. Ten, kto myślał, iż istnieje pewność ciągłego identyfikowania cząstek eteru, musi poddać swoją koncepcję rewizji w myśl wskazań nowoczesnej nauki. Nie możemy znaleźć naszej prędkości w eterze; nie możemy też powiedzieć, czy eter, znajdujący się w tym oto pokoju, płynie przez ścianę północną lub południową. To pytanie miałoby sens w przypadku materjalnego oceanu, lecz nieracjonalnem byłoby oczekiwać, że będzie miało sens w przypadku niematerjalnego eterowego oceanu..."

Zastanowiwszy się dobrze nad treścią tego ustępu, czytelnik łatwo dostrzeże, że z dawnego eteru, z eteru wieku XIX-go, pozostało już tylko słowo. W każdym razie eter relatywistów jest czemś zupełnie abstrakcyjnem, nie posiadającem ani jednej cechy ośrodków materjalnych. Nie przemawia on zupełnie do naszej wyobraźni. Czy nie moglibyśmy z równem prawem mówić o tem, że próżnia posiada pewne właściwości? Słowo eter sprawia nam ulgę. Bo jakże możemy sobie pomyśleć, że coś się odbywa tam, gdzie niema nic? Ulga ta w znacznej mierze jest złudzeniem: eter niematerjalny nie może nam pomóc do wyobrażania sobie przebiegu zjawisk. W najnowszym swym rozwoju fizyka coraz częściej rezygnuje z obrazów zmysłowych.

**Kwanty światła.** — W drugiej połowie wieku XIX-go, szczególnie po odkryciu Hertza, teorja falowa światła, która wszystkie fakty znane obejmowała i okazała wielką potęgę w przewidywaniu zjawisk nowych, uchodziła za niewzruszalną, wieczną podstawę tłumaczenia zjawisk natury; powrót do idej teorji korpuskularnej wydawał się czemś absolutnie niemożliwem[1]). Zwrot taki został jednak dokonany w wieku XX-tym. Nowe fakty doświadczalne zmusiły do zupełnej rewizji poglądów dawnych. Jest to nader znamienne; widzimy, że żadna z prawd ogólnych, stanowiących fundament fizyki, nie może

[1]) Nastroje ówczesne doskonale maluje poniższy wyjątek z odczytu Henryka Hertza p. n. „O związkach pomiędzy światłem a elektrycznością", który był wygłoszony na zjeździe przyrodników i lekarzy w r. 1889. „Czemże jest światło? Od czasów Young'a i Fresnel'a wiemy, że jest ono ruchem falowym. Znamy prędkość fal, znamy ich długość, wiemy, że są poprzeczne, znamy, jednem słowem, doskonale stosunki geometryczne ruchu. W tych rzeczach wątpliwości już nie są możliwe, obalenie tych poglądów jest dla fizyka rzeczą nie do pomyślenia.

być uważana za ostateczny, bezwzględny wyraz niezłomnych praw natury. Ogarnia ona jedynie całokształt doświadczenia w danym momencie czasu. Któż zechce twierdzić, żeśmy poznali jeżeli nie całość, to przynajmniej przeważną część zjawisk natury? Jeżeli zaś znamy jedynie drobną cząstkę pogmatwanej tkaniny wydarzeń, zawsze musimy się liczyć z koniecznością rewizji poglądów ogólnych.



Rys. 57.
Rozkład energji w widmie ciała czarnego; na osi odciętych—λ w mikronach, na osi rzędnych energja promieniowania w dowolnych jedn.

Początki przewrotu w poglądach na światło datują roku 1900 i związane są z badaniami teoretycznemi Maksa Plancka nad rozkładem energji w widmie ciała czarnego. Rzut oka na rys. 57 pokaże czytelnikowi, że najbardziej charakterystyczną cechę krzywej rozkładu energji stanowi istnienie wyraźnie zaznaczonego maximum. Analiza matematyczna tego zjawiska była trudna. Należało powiązać elektrodynamikę z termodynamiką; z jednej bowiem strony emisja światła jest zjawiskiem elektromagnetycznem, z drugiej—chodzi w danym przypadku o zjawisko promieniowania temperaturowego. Planck osięgnął przewagę nad poprzednikami swymi, między którymi byli badacze tego rzędu, co Lord Rayleigh; zdołał on otrzymać teoretycznie prawdziwą postać krzywej

---

Ze stanowiska ludzkiego teorja falowa światła jest pewnikiem; to, co stanowi konieczny wniosek płynący z niej, również jest pewnikiem. Jest więc również rzeczą pewną, że cała przestrzeń, dostępna poznaniu naszemu, nie jest pusta, lecz — napełniona substancją, w której mogą bić fale, — eterem". Piękny odczyt Hertza, jasno oświetlający problematy elektromagnetycznej teorji światła, zawierający wiele zwrotów, często cytowanych przez późniejszych fizyków, podajemy poniżej w całości.

rozkładu energji, zgodną z pomiarami Lummera i Pringsheima, zmuszony był wszakże uciec się w rozumowaniach swych do przypuszczenia, które się wtedy wydawało zupełnie dziwacznem, że wymiana energji pomiędzy materją promieniującą a próżnią zachodzi w sposób nieciągły, że czynne są pewne elementarne ilości energji, które otrzymały z łacińska nazwę quant'ów[1]). Kształt wzorów Planck'a był taki, iż kwant energji $E$ należało przedstawić zapomocą wzoru

$$E = h\nu \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Symbol $\nu$ (greckie ni) oznacza częstość drgań, $h$ jest wielkością stałą, która otrzymała nazwę stałej Plancka. Częstość drgań, niezbędną do obliczenia kwantu, bierze się z zasadniczego wzoru teorji falowej

$$\lambda = c/\nu \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

gdzie $\lambda$ oznacza długość fali, $c$ — prędkość światła, $\nu$ — częstość drgań. Zasługuje na podkreślenie fakt, że bez znajomości fal nie potrafilibyśmy interpretować czynnika $\nu$, wchodzącego we wzór zasadniczy teorji kwantowej.

Planck nie przypisywał kwantom realności, uważał je raczej za wybieg matematyczny w rozwiązaniu zagadnienia teoretycznego. Dopiero Einstein (1905), interpretując zapomocą kwantów zjawisko fotoelektryczne, przypisał im rolę podobną do roli korpuskułów w teorji emisyjnej Newtona. Taka koncepcja kwantów zrazu była traktowana tylko jako heurystyczny punkt widzenia, dopiero z biegiem czasu zaczęto konsekwentnie traktować kwanty jako pociski energji, zlokalizowane w pewnych punktach przestrzeni, posiadające określony pęd, a więc i bezwładność.

Ten nawrót do dawno porzuconych wyobrażeń teorji emisyjnej staje się konieczny gdy chodzi wytłumaczenie licznych zjawisk z dziedziny przemiany energji promienistej w energję elektronów i odwrotnie. Najwyraźniej występuje nieciągłość energji promienistej w dwu dziedzinach: 1) w zjawisku fotoelektrycznem, 2) w zjawisku Comptona. Cechy zasadnicze tych zjawisk rozpatrzmy tu ogólnie, szczegółowiej zaś w jednym z dalszych rozdziałów.

Zjawisko fotoelektryczne polega na tem, że, naświetlając metale, powodujemy wysyłanie elektronów. Bezpośrednio nasuwa się myśl, że energja światła przechodzi w energję kinetyczną elektronów; po-

---

[1]) W dalszym tekście stosujemy pisownię spolszczoną.

gląd taki nie byłby wcale sprzeczny z wyobrażeniami teorji falowej światła. Okazuje się jednak, że promienie o pewnem $\nu$, t. j. promienie określonej barwy, wyzwalają elektrony zupełnie określonej prędkości, niezależnie od natężenia promieniowania. Elektron wyzwolony posiada energję kinetyczną $\frac{1}{2}\, mv^2$, którą można wyrazić w ergach.

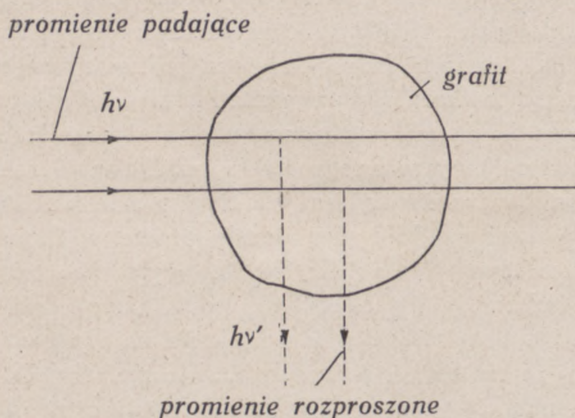
Wyobraźmy sobie, że przez osłabienie natężenia promieni padających (np. zapomocą oddalania źródła) tak zmniejszymy dopływ energji, wyzwalającej elektrony, że na każdy atom w ciągu sekundy będzie padać ilość światła, odpowiadająca jednej dziesięciotysięcznej $\frac{1}{2}\, mv^2$. Elektrony powinnyby wybiegać z metalu dopiero po trzech godzinach bezmała, kiedy się już nagromadzi w atomie ilość promieniowania równa energji wyrzucanego elektronu. Doświadczenie pokazuje atoli, że emisja elektronów następuje natychmiast, bez żadnych opóźnień. Teorja kwantowa daje niezmiernie proste wytłumaczenie zjawiska. Jeżeli założymy, że źródło światła wyrzuca energję skoncentrowaną w pociskach jakby, i że każdy pocisk, nazwijmy go fotonem, niesie energję $h\nu$, jasnem jest, że oddalanie źródła światła wpłynie jedynie na to, że na każdą jednostkę powierzchni w ciągu sekundy będzie padać zmniejszona ilość fotonów, każdy z fotonów zachowa jednak niezmieniony zapas energji, która przechodząc w energję kinetyczną elektronu, wytworzy elektrony o takiej samej wciąż energji kinetycznej. W myśl tych wyobrażeń powinno zachodzić równanie:

$$h\nu = \tfrac{1}{2}\, mv^2 + p \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3).$$

Wyraz $p$, dodany po stronie prawej, oznacza pracę, niezbędną na wydobycie elektronu z metalu. Wzór ten, zwany wzorem Einsteina, okazał się doskonale zgodny z wynikami doświadczeń. Najdokładniejsze sprawdzenie tego wzoru zawdzięcza nauka R. A. Millikan'owi w Ameryce.

Zjawisko Compton'a dotyczy promieniowania rozpraszanego. Rozpraszanie światła jest dobrze znane każdemu. Kiedy przy szczelnie zamkniętych oknach wdziera się do pokoju przez szparę pęk promieni słonecznych, bieg ich jasno się zarysowuje dzięki temu, że pyłki, znajdujące się zawsze w dolnych warstwach atmosfery, rozpraszają promienie świetlne na wszystkie strony. Badania, dokonane w ciągu ostatnich lat kilkunastu, pokazały, że światło jest rozpraszane nawet przez ośrodki zupełnie wolne od pyłków. Światło jest rozpraszane we wszystkich kierunkach. Zjawisko Compton'a wykryto, badając rozpraszanie promieni Röntgenowskich przez niektóre ciała, łatwo przepuszczające te promienie, jak np. grafit. Klasyczna

teorja falowa przewiduje, że w świetle rozpraszanem będą zawsze występować te same długości fali, które istnieją w świetle padającem. Tak więc, gdybyśmy wpuścili do pokoju zaciemnionego wiązkę promieni niebieskich, w świetle rozproszonem mielibyśmy do czynienia tylko z promieniami niebieskiemi, co zresztą łatwo obserwować w teatrze, przy wytwarzaniu efektów barwnych. C o m p t o n nie-




Rys. 58.
Rozpraszanie promieni Röntgena.

oczekiwanie stwierdził, że w promieniach Röntgena rozproszonych ukazują się też promienie o zmienionej długości fali, mianowicie o częstości drgań $\nu'$ mniejszej od częstości drgań $\nu$ światła padającego. Wyobrażenie o kwantach daje doskonały obraz przebiegu zjawiska. Kwanty padające $h\nu$ (rys. 58) przekazują część swej energji elektronom atomów, odskakują od elektronów uboższe w energję w postaci nowych kwantów $h\nu'$; oznaczając przez $E$ energję, uzyskaną przez elektron, możemy zatem napisać

$$h\nu = E + h\nu'.$$

Z równania tego łatwo otrzymamy dalej

$$\nu' = \nu - E/h$$

Widzimy więc, że z zachowania energji wynika zmniejszenie częstości drgań promieniowania rozpraszanego. Teorja kwantowa zjawiska C o m p t o n'a analizuje spotkanie kwantu z elektronem szczegółowo. Kiedy kula pędząca natrafi na kulę nieruchomą, odda jej część swego pędu. Jaką energję będzie posiadała kula uderzająca po

zderzeniu, będzie zależała od kąta, który utworzy jej bieg z kierunkiem ruchu pierwotnego. Można przewidywać, że będzie to również dotyczyć kwantów. Należy więc oczekiwać zależności długości fali promieniowania rozpraszanego od kąta, który tworzą promienie rozpraszanie z promieniami padającemi (na rys. 58 kąt ten równa się 90°). Doświadczenie potwierdziło przewidywania teorji kwantowej.

C. T. R. Wilson dał metodę [1]) pozwalającą *pośrednio* śledzić bieg elektronów i kwantów. Badając zjawiska rozpraszania promieni Röntgena w gazach, Compton i Simon mogli niemal ad oculos wykazać odskakiwanie kwantów od elektronów. Po tem wszystkiem trudnoby nie uznać realności kwantów, jako pocisków energji. Każdej barwie odpowiadają odmienne kwanty, zgodnie z wzorem $E = h\nu$. Czyżto nie przypomina korpuskułów świetlnych Newtona?

**Dualizm w optyce.** Wszędzie tam, gdzie energja promienista przechodzi w energję elektronów lub odwrotnie — energja elektronów przechodzi w energję promienistą, jak w emisji lub absorbcji światła, zjawisku fotoelektrycznem, teorja kwantów wyszła zwycięsko, dając proste, niewymuszone, ilościowo ścisłe wyjaśnienie faktów. Natomiast w dziedzinie dyfrakcji, interferencji, załamania podwójnego daremnie próbowaliśmy zrozumieć cokolwiek posługując się koncepcją kwantów. Teorja falowa jest tam wciąż wszechwładna. Narazie wszelkie próby sprowadzenia kwantów do fal okazały się nieskuteczne. Wielki wysiłek, dokonany w tym kierunku przez fizyka francuskiego Ludwika de Broglie dał wynik nieoczekiwany. Ujawnił istnienie fal materji. Podobnie jak światło ukazuje się nam to w postaci pocisków, niosących energję, to znów posiada własności fal, tak też zostało stwierdzone, że pędzące elektrony a nawet atomy, mogą ujawniać własności fal, wytwarzając zjawiska interferencji (p. rozdział o Falach Materji). Daremnie silimy się zrozumieć mechanizm tego sprzężenia. Uda się zapewne wrócić do poglądu jednolitego pokoleniom następnym; może jednak dualizm utrwalić się w fizyce, jak — w psychofizjologji, gdzie raczej wypada mówić o parallelizmie zjawisk psychicznych i fizycznych, niż o ich przyczynowem powiązaniu.

---

[1]) Opisaną szczegółowiej w jednym z dalszych rozdziałów.

## Rozdział V.

### CHRYSTJAN HUYGENS[1]).

*(1629 — 1695).*

OJCIEC Chrystjana, Konstanty Huygens, był wybitnym mężem stanu holenderskim, doradcą księcia Fryderyka Henryka Orańskiego. Obdarzony wielkiemi i różnorodnemi zdolnościami, zajmował się literaturą wszelkich czasów i narodów, muzyką, malarstwem, matematyką i mechaniką. Życie pędził bądź w obozie, bądź w licznych poselstwach; w chwilach wolnych pisywał utwory poetyckie tak w języku holenderskim, jako też i po łacinie. Śród spółczesnych liczył wielu zapalonych miłośników swych poezyj.

Konstanty Huygens sam się zajmował początkowem nauczaniem swych dwóch synów. Suma wiadomości, które musieli sobie przyswoić chłopcy, jest zadziwiająca. W ósmym roku życia uczył się Chrystjan łaciny, a, mając lat dziewięć, biegle władał tym językiem. Uczono dalej geografji, sposobu użycia globusu i wymierzania czasu wschodu i zachodu słońca w różnych porach roku; uzupełniał naukę śpiew. W dziesiątym roku życia ćwiczono Chrystjana w układaniu wierszy łacińskich i grze na skrzypcach; w jedenastym uczono go gry na lutni, a w dwunastym — logiki. Najwięcej trudności sprawiało mu układanie łacińskich wierszy. Dla przyszłego uczonego nastały szczęśliwsze czasy, kiedy obok łaciny, greckiego, francuskiego, włoskiego i gry na klawikordzie zaczęto go uczyć mechaniki. Wszystkie chwile wolne poświęcał wówczas sporządzaniu modeli i zręczność swą posunął w krótkim czasie tak daleko, że w ciągu roku zbudował tokarnię.

---

[1]) Przy układaniu tego szkicu korzystaliśmy z życiorysu Huygensa, który podał J. Bosscha, wybitny fizyk holenderski, sekretarz Holenderskiej Akademji Nauk, w przemówieniu swem w czasie obchodu 200-letniej rocznicy śmierci Huygens'a. J. Bosscha „Christian Huygens", Lipsk nakład W. Engelmanna, 1895.

Gdy w następnych latach posiadł jeszcze matematykę, sztukę konnej jazdy i tańca, uznano go za dojrzałego i w 16-tym roku życia posłano na Uniwersytet w Lejdzie, gdzie został zapisany jako studiosus juris (student prawa). Uczył się w Lejdzie, oprócz prawa, też i ulubionej matematyki od van-Schooten'a, dzielnego matematyka, który korespondował z wieloma ówczesnymi wybitnymi matematykami; między innymi, był zaprzyjaźniony z Kartezjuszem i Mersenn'em[1].

Jedno z wypracowań matematycznych Huygensa posłał van Schooten Descartes'owi, który odrazu umiał ocenić talent przyszłego uczonego. W jednym z listów swych pisał Kartezusz: „Niedawno profesor Schooten przysłał mi wypracowanie drugiego syna pana na Zuilichem, dotyczące pewnego odkrycia matematycznego; choć nie osięgnął on jeszcze zamierzonego celu, wziął się jednak do rzeczy takim sposobem, iż to mnie upewnia, że będzie doskonałym w tej nauce". Z Lejdy przeniósł się Huygens do uniwersytetu w Bredzie, a w kilka lat później wydał pierwsze swe dzieło o „Kwadraturze hiperboli, elipsy i koła" (1651). Następnie ukazały się jego dalsze prace matematyczne; w roku 1656 ogłosił on pracę „O rachunku w grach losowych", gdzie po raz pierwszy zostały systematycznie wyłożone zasady rachunku prawdopodobieństwa. Równocześnie dojrzały odkrycia Huygensa w dziedzinie mechaniki. Stwierdzono, że już w roku 1656 znane mu były prawa zderzenia się ciał, które później dopiero ogłosił; wkrótce też dał Huygens dwa nowe prawa mechaniki: prawo zachowania ruchu środka ciężkości i prawo zachowania zdolności do pracy w ruchu ciał.

Zajmowały Huygens'a jednocześnie zagadnienia astronomiczne. Przedsięwziął on budowę nowego wielkiego teleskopu, co wymagało wielkich ofiar czasu i cierpliwości, gdyż, pragnąc mieć narzędzie jak najdoskonalsze, zajął się sam szlifowaniem soczewek. Wytrwałość została uwieńczona powodzeniem: w roku 1655 odkrył Huygens księżyc Saturna; zbudowany przezeń teleskop 12-to stopowy (stopa ok. 32 cm.) przewyższał czystością swych obrazów wszystkie

[1] Mersenne (1588—1648) był wybitnym teologiem, matematykiem i filozofem. Odznaczył się swemi badaniami w dziedzinie akustyki, własności ciał stałych i cieczy. Był jednym z najbliższych przyjaciół Kartezjusza. Korespondował z wszystkimi niemal wybitniejszymi uczonymi Europy, jakby trzymając rękę na pulsie rozwoju nauki. Kiedy chodziło o rozstrzygnięcie lub wyjaśnienie jakiejś kwestji, zwracano się do niego, on zaś wysyłał zapytanie pod właściwym adresem.

dotychczasowe. Uczynione odkrycie zachęciło go do dalszych wysiłków. Po pewnym czasie powstał jeszcze większy teleskop 23-stopowy. Zapomocą tego narzędzia udało się H u y g e n s'owi odkryć pierścień Saturna; później nastąpił szereg innych odkryć mniejszej wagi.

W tym również niezmiernie płodnym okresie życia dokonał H u y g e n s jednego ze swych najważniejszych wynalazków: zbudował zegar wahadłowy. H u y g e n s, jak zwykle, nie spieszył się z ogłoszeniem swego wynalazku. Dopiero w osiem miesięcy po umieszczeniu zegara na wieży ratuszowej w Scheveningen, ogłosił opis zegara w dziełku „Horologium". To niekwapienie się H u y g e n s'a z ogłaszaniem prac swych nastręczało często ludziom złej woli sposobność do podawania się za rzekomych wynalazców tej lub innej rzeczy. Sąd historji wypadł jednak ostatecznie na korzyść prawdziwego wynalazcy.

W roku 1660 odwiedził H u y g e n s Anglję i Francję, nawiązując szereg stosunków osobistych z wybitnymi uczonymi tych krajów; z wieloma zresztą prowadził już i wcześniej ożywioną korespondencję. Istniały wówczas w Paryżu stowarzyszenia prywatne, mające na celu wspólne omawanie najnowszych wydarzeń w dziedzinie literatury i nauki. Te stowarzyszenia nadawały sobie nazwę akademij; z nich staraniem słynnego C o l b e r t'a, ministra Ludwika XIV, powstała Paryska Akademja Nauk, która do dziś jest najwybitniejszą bodaj w świecie instytucją naukową.

C o l b e r t umiał ocenić talent wielkiego Holendra; samo nawet utworzenie Akademji warunkował zgodą H u y g e n s'a. Gdy ten w roku 1665 zgodził się na przyjazd do Paryża, w kołach licznych jego przyjaciół zapanowała niekłamana radość. Niektórzy wyrażali wątpliwość, czy H u y g e n s znajdzie w Paryżu dość zręcznych robotników do urzeczywistnienia swych wynalazków; miał na to H u y g e n s odpowiedzieć, że — wykonanie fraszka, byle były pomysły. Szlifierz wielkich objektywów, człowiek, który sam zbudował machinę pneumatyczną i zegar, niewątpliwie mógł być pewien sił swoich.

W Paryżu zamieszkał H u y g e n s w gmachu Bibljoteki Królewskiej. Spędził tu 12 lat swego życia, całkowicie pogrążony w pracy naukowej. Byt materjalny zabezpieczył mu rząd francuski w osobie C o l b e r t'a. W Paryżu wydał swe dzieło: „Horologium oscillatorium, sive de motu pendulorum ad horologia adaptato" (1673), („Zegar wahadłowy czyli o ruchu wahadeł w zastosowaniu do ze-

garów"). Tu też napisał swój wiekopomny „Traktat o świetle", wydany w r. 1690.

Horologium oscillatorium wiąże się z wynalazkiem zegara. Zawiera jednak prócz tego szereg ważnych odkryć z mechaniki i matematyki. Autor daje, między innemi, teorję ruchu jednostajnego po kole, określa środek wahania wahadła złożonego, udawadnia izochronizm spadania po cykloidzie, wprowadza po raz pierwszy pojęcie krzywizny linji i daje teorję rozwiniętych.

Rozprawa o świetle stanowi punkt wyjścia dla współczesnej nam nauki o energji promienistej. Koncepcje H u y g e n s'a do dziś tkwią we wszelkiej teorji tych zjawisk. Najbardziej może zadziwiają rozdziały, poświęcone teorji załamania podwójnego; mamy tu przed sobą jednolite arcydzieło subtelnego i głębokiego rozumowania, zespolonego z dziwnym darem spostrzegawczym i talentem eksperymentatorskim. Pod względem jasności wykładu, ta część „Traktatu" prześciga niewątpliwie wszystko, co zazwyczaj spotykamy obecnie w podręcznikach elementarnych. Być może, iż ilościowe sprawdzenie teorji nie odpowiada obecnym wymaganiom; trzeba jednak przyznać, że autor osięgnął wszystko, na co pozwalały posiadane przezeń przybory; były niemi: kawałek kryształu, cyrkiel, papier i pióro. Badania ścisłe, wykonane przy pomocy środków nowoczesnych, potwierdziły w zupełności teorję H u y g e n s'a. (W o l l a s t o n 1806). Jasnemu, przenikliwemu umysłowi H u y g e n s'a udało się tu rozwiązać jedno z najzawilszych zagadnień nauk przyrodniczych.

Asystentem H u y g e n s'a w Paryżu był słynny potem D é n i s P a p i n [1]). Jego wynalazek machiny parowej niewątpliwie miał swe źródło w pomysłach H u y g e n s'a, który zbudował machinę, poruszaną zapomocą wybuchów prochu. Machina H u y g e n s'a jest pierwowzorem naszych obecnych motorów wybuchowych. Myśl użycia siły pary również należy do H u y g e n s'a. W spisie 27 tematów, które, podług projektu H u y g e n s'a, miały być rozpatrywane w Akademji, znajdujemy między innemi:

19. Wyszukać najlepsze i najprostsze środki podnoszenia wody.
20. Wypróbować siłę prochu.
21. Również — złota piorunującego.

---

[1]) D é n i s P a p i n (1647—1710) — znany wynalazca kociołka do gotowania wody w wysokich temperaturach; dał również model machiny parowej, która jednak nie miała praktycznego zastosowania.

22. Również — wody, która się ulatnia przez działanie ognia.

Hugens był duszą sekcji matematyczno - fizycznej Akademji. Niestrudzony był tak w komunikowaniu wyników badań teoretycznych, jako też w demonstrowaniu eksperymentów. Brał również udział w pracach sekcji nauk przyrodniczych, w której podówczas zasiadali lekarze; wśród przyrodników tych panował prawdziwy chaos w metodach badania i w wyciąganiu wniosków; miał tu Huygens do czynienia z typami iście Molière'owskimi. Ci ludzie umieli tylko destylować, sublimować, robić wyciągi. To poddawali destylacji cały melon, to znów destylowali substancje zawarte w czterdziestu żywych kretach; dokonywali mnóstwa dyssekcji bez celu i ładu. Tym sposobem był Huygens razu pewnego mimowolnym świadkiem sekcji kobiety straconej. Zajęła go budowa oka ludzkiego; zdjął dokładne pomiary z różnych części, określił krzywiznę rogówki i obydwu powierzchni soczewki; widząc, że soczewka daje się ściskać pomiędzy palcami, wypowiedział myśl, że jej odkształceniom należy przypisać przystosowywanie się oka do różnych odległości. Pogląd ten wyprzedził o lat dwieście teorję akomodacji.

Wytężona praca wpłynęła niepomyślnie na stan zdrowia Huygens'a. Siły zaczęły go opuszczać. Ciężko chory kilkakrotnie wyjeżdżał do domu, aby wypocząć wśród rodziny. Tymczasem we Francji stosunki zaczęły się zmieniać. Ludwik XIV w żarliwości religijnej, która cechowała starsze jego lata, stał się nietolerantem. Zaczęły się prześladowania religijne, uwieńczone zniesieniem edyktu Nantejskiego. Huygens, który złożony chorobą wyjechał był koło roku 1677 do domu, nie miał już po co wracać do Francji. Musieli opuścić Francję w tym czasie i inni uczeni niekatolicy: Papin, Römer.

Zrywa odtąd Huygens swe stosunki z Akademją Paryską. Nowe swe prace komunikuje wyłącznie Królewskiemu Towarzystwu Nauk w Londynie. Temu ostatniemu przekazuje również swe wielkie lunety. Umarł w r. 1695.

Jako człowiek odznaczał się Huygens charakterem łagodnym, niezwykle skromnym i ujmującym. Życie swe poświęcił nauce bez zastrzeżeń. Nie był żonaty, podobnie jak Newton i kilku innych wielkich uczonych owego czasu. Charakterystyczny pod tym względem jest list, który napisał do brata swego Ludwika z racji narodzin syna pierworodnego:

„Il y a du plaisir d'avoir matière à se faire ainsi des félicitations réciproques, à l'un pour des enfants de chair, à l'autre pour des



CHRYSTJAN HUYGENS

enfants d'esprit. Si votre garçon est beau, ma fille, la nouvelle invention est aussi belle en son espèce et vivra longtemps avec sa soeur ainée la pendule et son frère l'anneau de Saturne"[1]).

---

**Traktat o świetle, gdzie wyjaśnione są przyczyny zjawisk, zachodzących przy jego odbiciu i załamaniu, a w szczególności — przy osobliwem załamaniu kryształu Islandzkiego przez C. H. D. Z.[2]).**

## ROZDZIAŁ I.

### O prostoliniowem rozchodzeniu się promieni.

Dowodzenia, dotyczące optyki, podobnie jak to bywa we wszystkich naukach, gdzie geometrję stosujemy do materji, oparte są na prawdach, wziętych z doświadczenia; taką prawdą jest np., że promienie światła rozchodzą się po linji prostej, że kąty odbicia i padania są sobie równe, że przy załamaniach promień łamie się podług prawidła, zwanego obecnie regułą wstaw., które jest nie mniej pewne od poprzednich.

Ci, którzy pisali o różnych działach optyki, zadawalali się po większej części tem, iż zgóry przyjmowali te prawdy. Lecz niektórzy, bardziej ciekawi, chcieli dociec ich pochodzenia i przyczyny, uważając, że one same przez się są zadziwiającemi przejawami oddziaływania Natury. W tym względzie wypowiedziano rzeczy nader pomysłowe, jednak nie takie, aby ludzie sprawę głębiej pojmujący nie pożądali tłumaczeń, któreby ich bardziej zadawalały; z tego powodu chcę tu wyłożyć to, co sam myślałem o tym przedmiocie, aby, w miarę możności, przyczynić się do wyjaśnienia tej części Nauk przyrodniczych, która nie bez słuszności uchodzi za jedną z trudniejszych. Wyznaję,

---

[1]) „Przyjemnem jest, że mamy powód do złożenia sobie życzeń wzajemnych: jednemu z racji dzieci jego krwi, drugiemu z racji dzieci jego umysłu. Jeżeli twój chłopiec jest piękny, to również piękną w swym rodzaju jest ma córka — me nowe odkrycie (po fr. rodz. żeńskiego), i długo będzie ona żyć wraz ze starszą swą siostrą zegarem i swym bratem pierścieniem Saturna".

[2]) Inicjały C. H. D. Z. znaczą: Christian Huygens z Zuilichem. W oryginale tytuł dzieła brzmi: „Traité de la lumière où sont expliquées les causes de ce que lui arrive dans la reflexion et dans la refraction et particulièrement dans l'étrange refraction du cristal d'Islande par C. H. D. Z.; avec un discours de la cause de la pesanteur. A Leide, chez Pierre Van der Aa, marchand libraire MDCXC". (1690). Jak widać z tytułu, drugą część dzieła stanowi rozprawa o przyczynie ciężkości; tej części zbiór niniejszy nie obejmuje.

że jestem wiele obowiązany tym, którzy pierwsi zaczęli rozpraszać dziwny mrok, osłaniający te rzeczy, i zaczęli budzić nadzieję, że one mogą być wyjaśnione zapomocą zrozumiałych przyczyn Z drugiej strony dziwę się jednak również, że nawet ci właśnie uczeni często chcieli podawać rozumowania mało oczywiste za bardzo pewne i przekonywujące. Nie znajduję mianowicie, żeby ktokolwiek wytłumaczył w sposób prowdopodobny te najprostsze a ważne zjawiska świetlne, a mianowicie: dlaczego światło rozchodzi się tylko wzdłuż linij prostych, i jakim sposobem promienie widzialne, wychodzące z nieskończonej mnogości miejsc różnych, krzyżują się, nie przeszkadzając w niczem jedne drugim.

Sprobuję więc w tej książce, opierając się na zasadach przyjętych w filozofji dzisiejszej, podać dowody tych zjawisk bardziej jasne i bardziej prawdopodobne; przyczem omówię po pierwsze własności światła, rozchodzącego się prostolinjowo, po drugie — własności światła, odbitego wskutek spotkania z innemi ciałami. Potem wytłumaczę zjawiska, dotyczące promieni, które, jak mówią, doznają załamania, przechodząc przez różnego rodzaju ciała przezroczyste; tam też rozważać będę skutki załamania w powietrzu, wynikającego z różnej gęstości warstw atmosfery.

Dalej zbadam przyczyny niezwykłego załamania w pewnym krysztale, który przywożą z Islandji. W końcu będę rozważał różne formy ciał przezroczystych i odbijających, dzięki którym promienie są zbierane w jednym punkcie lub też odchylane różnemi sposobami.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Nie należy wątpić, że światło polega na ruchu pewnej materji. Albowiem, gdy obserwujemy jego powstawanie, znajdujemy, że tu na ziemi przeważnie ogień i płomień wywołują światło, a one niewątpliwie zawierają ciała, które znajdują się w prędkim ruchu, gdyż rozpuszczają i topią wiele innych ciał i to nawet z pomiędzy najbardziej stałych. Podobnież, gdy zważymy skutki przez światło wywołane, widzimy, że, gdy zbieramy np. jego promienie zapomocą zwierciadeł wklęsłych, ma ono własność palenia, jak ogień, to jest — rozdziela części ciał. Okoliczność ta świadczy niewątpliwie o ruchu, — przynajmniej w filozofji prawdziwej, która widzi przyczynę wszystkich zjawisk natury w czynnikach mechanicznych [1]. Tak właśnie

[1] Kwestja mechanistycznego na świat poglądu jest do dnia dzisiejszego żywotną. Zagadnienie właściwie ma charakter metafizyczny i, jako takie, rozstrzygnięcia naukowego mieć nie może. W każdym razie dążenie do sprowadzenia zjawisk

należy czynić zdaniem mojem lub też — wyrzec się wszelkiej nadziei, aby kiedykolwiek zrozumieć cokolwiek w Fizyce.

A ponieważ podług tej filozofji uważa się za rzecz pewną, że wrażenia wzrokowe są wzbudzane przez jakiś ruch materji, która działa na nerwy na dnie oczu naszych, mamy więc nowy powód do przypuszczenia, że światło polega na ruchu materji, która znajduje się pomiędzy nami a ciałem świecącem.

Zauważmy dalej, że światło rozchodzi się na wszystkie strony z niezmierną prędkością, i że wiązki światła, przychodzące ze stron różnych, nawet wręcz przeciwnych, przenikają się wzajemnie, nie przeszkadzając jedne drugim; opierając się na tem, zrozumiemy łatwo, że, gdy widzimy przedmiot świecący, nie może to zachodzić dzięki przenoszeniu się materji, która miałaby dochodzić do nas od przedmiotu tego podobnie, jak kula lub strzała, przeszywająca powietrze. Albowiem sprzeciwia się to nazbyt tym dwu własnościom światła, a zwłaszcza ostatniej [1]). A zatem światło rozchodzi się w inny sposób, a do zrozumienia tego sposobu może nas prowadzić właśnie znajomość rozchodzenia się głosu w powietrzu.

Wiemy, że od miejsca, w którem głos został wytworzony, rozchodzi się on wszędzie naokoło za pośrednictwem powietrza, ciała, którego nie można widzieć i dotykać, przyczem ruch przechodzi stopniowo od jednej części powietrza do drugiej. Ponieważ rozchodzenie się tego ruchu odbywa się we wszystkie strony z jednakową prędkością, muszą przeto powstawać jakby powierzchnie kuliste, które rozszerzają się ciągle i wreszcie uderzają w nasze ucho. Otóż nie ulega wątpliwości, że również i światło dochodzi do nas od ciał świecących zapomocą jakiegoś ruchu nadanego materji, która się znajduje pomiędzy tamtem ciałem a nami; albowiem widzieliśmy już, że to się nie może dziać zapomocą przenoszenia się ciała, któreby przechodziło stamtąd do nas. Jeżeli więc w dodatku, co rozpatrzymy teraz, światło używa pewnego czasu na swe przechodzenie, to będzie stąd wynikało, że ruch nadany materji jest stopniowy, że więc rozchodzi się on zapomocą

---

wszelkich do mechaniki dało pochop do najwspanialszych odkryć w dziedzinie fizyki; na gruncie tym powstała teorja falowa światła i teorja kinetyczna gazów. Badając rzeczy nowe, fizyk eksperymentator musi starać się wyrobić sobie o rzeczach tych wyobrażenie i szuka analogji mechanicznych. Wynika stąd, że dążenie do wyjaśnienia mechanicznego natury nigdy chyba nie straci swej wartości poznawczej. Nie da się jednak zaprzeczyć, że w rozwoju fizyki spółczesnej modele mechaniczne coraz mniejszą rolę odgrywają. (Tł.).

[1]) To jest zdolności wzajemnego przenikania się wiązek świetlnych. (Przyp. tł.).

powierzchni i fal sferycznych podobnie, jak to się dzieje w przypadku dźwięku. Nazywam je falami wskutek podobieństwa do fal, których powstawanie w wodzie widzimy, kiedy wrzucimy w nią kamień. Te fale okazują takie właśnie stopniowe rozchodzenie się wokół, choć pochodzi to z innej przyczyny i ma miejsce tylko na powierzchni płaskiej.

Na następnych stronicach rozpatruje Huygens kwestję prędkości światła i, powołując się na dane, zdobyte przez Römera w jego obserwacjach nad zaćmieniami księżyców Jowisza, zbija zdanie Descartes'a o momentalnem rozchodzeniu się światła.

...A zatem prędkość światła jest przeszło sześćset tysięcy razy większa [1]) od prędkości głosu. Jest to jednak rzecz zgoła różna od rozchodzenia się momentalnego, ponieważ pomiędzy jednem a drugiem zachodzi ta sama różnica, co pomiędzy rzeczą skończoną a nieskończoną. Gdy więc stopniowość ruchu światła jest tym sposobem stwierdzona, wynika stąd, jakem mówił, że ruch ten odbywa się zapomocą fal kulistych, na wzór rozchodzenia się głosu.

Lecz jeżeli i jedno i drugie zjawisko podobne są do siebie pod tym względem, różnią się one pod wieloma innemi względami; a mianowicie: pod względem pochodzenia ruchu, który je wywołuje, a dalej— pod względem materji, w której ruch się rozchodzi, oraz sposobu w jaki się przekazuje. Albowiem, co dotyczy wytwarzania dźwięku, wiadomo, że dzieje się to przez wstrząśnienie, którego doznaje całe ciało lub też znaczna część jego; one już poruszają całe powietrze przylegające. Ruch światła znowu musi powstawać jakby w każdym punkcie przedmiotu świecącego, co nam pozwala zauważyć wszystkie części tego przedmiotu; zobaczymy to lepiej w dalszym ciągu. I nie sądzę, by ruch ten można było wytłumaczyć lepiej innym sposobem, niż zapomocą przypuszczenia, że te z pomiędzy ciał świecących, które są płynne, jak płomień, a również, o ile się zdaje, słońce i gwiazdy, składają się z cząsteczek, które pływają w materji daleko subtelniejszej. Materja ta porusza te cząsteczki z wielką szybkością i uderza niemi o cząsteczki eteru, które je otaczają, a które są od nich daleko mniejsze. Przypuszczalnie jednak w ciałach stałych, jak węgiel lub metal rozżarzony w ogniu do czerwoności, ruch jest wywoływany przez silne wstrząśnienia cząstek metalu lub drzewa; a te właśnie

---

[1]) Podług obecnych danych (prędkość światła — $3 . 10^{10} \frac{cm.}{sek.}$, prędkość głosu około 340 $\frac{cm.}{sek.}$) stosunek ten równa się prawie 900000.

cząsteczki, które są na powierzchni, uderzają znowu o materję eterową. Zresztą ruch cząsteczek, które wytwarzają światło, musi być daleko silniejszy i prędszy, niż ruch ciał, który powoduje dźwięk, ponieważ nie widzimy, aby drganie ciała dźwięczącego było w stanie wywołać światło, podobnie, jak ruch ręki w powietrzu nie jest w stanie wywołać dźwięku.

A teraz, jeżeli rozpatrzymy, jaką może być ta materja, w której rozchodzi się ruch, idący od ciał świecących, a którą ja nazywam materją eterową, zobaczymy, że nie jest to ta sama materja, która służy do rozchodzenia się dźwięku. Ponieważ znajdujemy, że tą ostatnią jest właśnie powietrze, które odczuwamy i którem oddychamy; albowiem, jeżeli je usuniemy z danego miejsca, to druga materja, która służy do rozchodzenia się światła, nie przestaje tam się znajdować. Dowodzi się tego, zamykając ciało dźwięczące w naczyniu szklanem, z którego potem wyciąga się powietrze zapomocą maszyny, którą nam dał p. B o y l e i zapomocą której wykonał on tyle pięknych doświadczeń. Wykonywując jednak doświadczenie, o którem mówię, należy pamiętać o tem, żeby umieścić ciało dźwięczące na bawełnie lub na pierzach tak, aby ono nie mogło przekazywać swych drgań naczyniu szklanemu, które je zawiera, ani maszynie, czego dotychczas zaniedbywano. Ponieważ wówczas, po wypompowaniu całego powietrza, nie słychać głosu, choć metal jest uderzany.

Widzimy stąd nie tylko, że nasze powietrze, które nie przenika szkła, jest materją, w której rozchodzi się głos, lecz również, — że światło rozchodzi się bynajmniej nie w tem samem powietrzu, lecz w jakiejś innej materji; albowiem, choć powietrze zostanie usunięte z naczynia, światło jednak nie przestaje przechodzić przez nie, jak poprzednio.

Słynne doświadczenie T o r r i c e l l e g o stwierdza jeszcze jaśniej ten ostatni punkt; w doświadczeniu tem rurka szklana, z której ustąpiło żywe srebro, opróżniona z powietrza, przepuszcza światło, jak gdyby w niej było powietrze. A to dowodzi, że w rurce tej znajduje się materja od powietrza odmienna, i że ta materja musiała przebić szkło lub żywe srebro, bądź też jedno i drugie ciało, które są obydwa nieprzenikliwe dla powietrza. A gdy w tem samem doświadczeniu otrzymuje się próżnię, dodając nieco wody powyżej rtęci, wnioskuje się wówczas w podobny sposób, że materja, o której mowa, przechodzi przez szkło lub też przez obydwa ciała.

Co się tyczy różnych sposobów, któremi, jak powiedziałem, przekazują się stopniowo ruchy głosu i światła, można dostatecznie zro-

zumieć, jak to zachodzi, w stosunku od głosu, jeżeli się zważy, że powietrze jest tej natury, iż może ono zostać ściśnięte, a objętość jego — zredukowana do objętości daleko mniejszej. W miarę ściskania okazuje powietrze dążenie, aby zpowrotem zająć przestrzeń szerszą. Otóż ta własność łącznie z przenikliwością, która pozostaje powietrzu, pomimo ściśnięcia, zdaje się świadczyć, że ono jest złożone z małych ciałek, które pływają w materji eterowej i są w niej nader szybko poruszane; sama zaś materja eterowa składa się z części dalego mniejszych. Tym sposobem przyczyną rozchodzenia się fal głosu jest wysiłek tych małych, uderzających o siebie ciałek, aby zająć szerszą przestrzeń, gdy w obrębie fal tych zostaną trochę bardziej ściśnięte, niż gdzieindziej.

Lecz nadzwyczajna prędkość światła i inne jego własności nie pozwalają przypuszczać tego rodzaju rozchodzenia się ruchu; pokażę tutaj, jakim sposobem ja sobie rzecz tę wyobrażam. W tym celu należy wytłumaczyć własność wzajemnego przekazywania ruchu, którą posiadają ciała twarde.

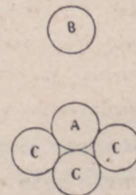
Jeżeli wziąć pewną liczbę kul jednakowej wielkości, zrobionych z jakiegoś materjału bardzo twardego, i te kule ułożyć w szereg, wzdłuż linji prostej, aby się dotykały siebie, to znajdziemy, że, jeżeli kulą podobną uderzymy pierwszą z tych kul, ruch przejdzie jakby momentalnie aż do ostatniej, która oddziela się od szeregu, choć nie widać, żeby inne się poruszyły; i nawet kula, która je uderzyła, pozostaje wraz z niemi nieruchoma. I widzi się tu rozchodzenie się ruchu o prędkości nadzwyczajnej, i ta prędkość jest tem większa, im większą twardość posiada materja kul. Lecz jest jeszcze pewnem, że to przechodzenie ruchu nie jest momentalne, lecz stopniowe i wymaga zatem czasu. Albowiem gdyby ruch lub, jeżeli kto chce, skłonność do ruchu nie przechodziła stopniowo przez te wszystkie kule, to one wszystkie nabierałyby jej jednocześnie, a zatem posuwałyby się naprzód wszystkie razem, co nie zachodzi, gdyż właśnie ostatnia opuszcza cały szereg i nabiera prędkości tej kuli, która była popchnięta. Pozatem znamy doświadczenia, które wykazują, że wszystkie te ciała, które zaliczamy do rzędu najtwardszych, jak stal hartowana, szkło, agat są sprężyste i gną się do pewnego stopnia nie tylko, gdy są wyciągnięte w pręty, lecz również, gdy mają formę kul lub jakąkolwiek inną. To znaczy, iż wchodzą one trochę same w siebie w miejscu, w którem są uderzone, i uderzone wracają niezwłocznie do swej postaci pierwotnej. Albowiem, uderzając kulą szklaną lub agatową o duży i bardzo gruby kawałek tej samej materji, która

miała powierzchnię gładką i nieco przymgloną zapomocą chuchnięcia lub innym sposobem, znalazłem, iż pozostawały znaki okrągłe, mniejsze lub większe, stosownie do tego, czy uderzenie było silne, czy słabe. Widać stąd, że te materje poddają się przy swem spotkaniu, a potem powracają do swego kształtu, na co przecież muszą zużywać czas.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Lecz, choć nie znamy prawdziwej przyczyny sprężystości, widzimy wciąż, że wiele ciał posiada tę własność; niema zatem nic dziwnego w przypuszczeniu, że posiadają własność tę również i małe ciałka niewidzialne, jak ciałka eteru. A jeżeli chcemy szukać jakiegoś innego sposobu, zapomocą którego ruch światła miałby się przekazywać stopniowo, to nie znajdziemy sposobu, któryby lepiej odpowiadał rzeczywistości, niż sprężystość i jednostajność biegu. Ta ostatnia wydaje się konieczną, albowiem, gdyby prędkość ruchu malała w miarę, jak, przy oddalaniu się od źródła światła, ruch ten rozdziela się pomiędzy większą ilością materji, bieg światła nie mógłby zachować swej wielkiej prędkości na dużych odległościach. O ile zaś przypuścimy sprężystość materji eterowej, cząsteczki jej będą miały zdolność powracania do swego kształtu z prędkością jednakową, niezależnie od tego, czy będą silnie czy słabo popchnięte. Tym sposobem bieg światła odbywać się będzie zawsze z równą prędkością.

I trzeba wiedzieć, że, choć cząsteczki eteru nie są uszeregowane wzdłuż linij prostych, jak nasz rząd kul, lecz ułożone w sposób powikłany tak, że każda z nich dotyka wielu innych, nie przeszkadza im to jednak w przekazywaniu wzajemnem swego ruchu i szerzeniu go wciąż naprzód. Tu należy zauważyć prawo ruchu, które jest podstawą tego rozchodzenia się, a które sprawdza się w doświadczeniu. Jeżeli mianowicie kula *A* (rys. 59) dotyka kilku innych podobnych *CCC* i doznaje uderzenia od innej kuli *B*, przyczem wywiera parcie na wszystkie kule *CCC*, których się dotyka, wówczas przekazuje im ona całkowicie ruch swój i pozostaje nieruchoma podobnież, jak i kula *B*. Jest łatwo zrozumiałem, że ta własność uderzenia przyczynia się do wspomnianego rozchodzenia się ruchu; nie zależy to od przypuszczenia o sferycznej formie cząsteczek eterowych (gdyż nie widzę zresztą konieczności takiego przypuszczenia).



Rys. 59.

Równość cząsteczek pod względem wielkości wydaje się bardziej konieczną, gdyż inaczej musiałoby mieć miejsce odbicie ruchu wstecz,

przy jego przechodzeniu od cząsteczki mniejszej do większej, jak wynika z praw uderzenia, które ogłosiłem kilka lat temu.

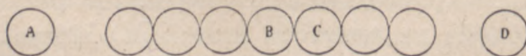
. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Należy jeszcze rozpatrzyć szczegółowiej pochodzenie tych fal [1]) i sposób ich rozchodzenia się. Z tego, co było powiedziane o wytwarzaniu światła, wynika przedewszystkiem, że każda cząstka ciała świecącego, jak słońce, świeca lub żarzący się węgiel, wytwarza swe fale, a sam punkt świecący jest środkiem fali. Jeżeli więc w płomieniu świecy wyróżnimy punkty *A*, *B*, *C* (rys. 60), to koła spółśrodkowe, zakreślone wokoło każdego z tych punktów, przedstawiają fale, które z nich wychodzą. Podobne fale należy sobie wyobrażać naokoło każdego punktu powierzchni lub też części wewnętrznej tego płomienia. Ponieważ jednak wstrząśnienia w środku tych fal nie mają bynajmniej regularnej następczości, nia należy więc wyobrażać sobie, aby same fale szły po sobie w równych odstępach; a jeżeli odstępy wydają się równe na tej figurze, to uczyniono tak raczej, aby zaznaczyć posuwanie się naprzód jednej i tej samej fali w równych odstępach czasu, niż — by przedstawić kilka fal z tego samego środka pochodzących.



Rys. 60.

Niech się jednak nie wydaje niepojętem, że ta zdumiewająca ilość fal, krzyżujących się, nie wywołuje zamieszania i nie znosi się wzajemnie. Albowiem jest rzeczą pewną, że ta sama cząstka materji może służyć do przenoszenia wielu fal, przychodzących ze stron różnych, nawet — przeciwnych, i to — nie tylko, gdy ją wprawiają w ruch uderzenia, które następują po sobie w bliskich odstępach, lecz nawet, — gdy uderzenia te działają na nią jednocześnie; dzieje się tak wskutek stopniowego przekazywania się ruchu. Można tego



Rys. 61.

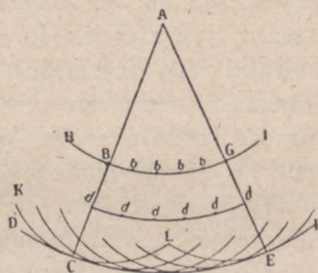
dowieść zapomocą szeregu kul równych, z twardej substancji, o których była mowa powyżej. Jeżeli popchniemy w kierunku takiego szeregu jednocześnie z dwu stron przeciwnych jednakowe kule *A* i *D*, to zobaczymy, że każda z nich odskoczy z taką samą prędkością, jaką miała, biegnąc. Cały szereg pozostanie w swem miejscu, cho-

[1]) Świetlnych *(przyp. tł.)*.

ciaż ruch przebiegł całą jego długość i to podwójnie. I jeżeli te ruchy przeciwne spotkają się w kuli środkowej *B* lub w jakiej innej *C*, to musi ona ugiąć się i okazać przeciwdziałanie sprężyste z dwu stron; tym sposobem będzie ona jednocześnie służyć do przekazywania tych dwu ruchów.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Należy jeszcze zauważyć, że, przy wysyłaniu fal świetlnych, każda cząstka materji, w której się fala rozchodzi, musi przekazywać swój ruch nie tylko cząsteczce sąsiedniej, która znajduje się na linji prostej, poprowadzonej z punktu świecącego, lecz oddaje ruch swój z równą koniecznością wszystkim innym cząsteczkom, które jej dotykają, a które się sprzeciwiają jej ruchowi. Tym sposobem koło każdej cząsteczki nieodzownie powstaje fala, której środek stanowi dana cząsteczka. Jeżeli zatem *DCF* jest falą, która wyszła z punktu świecącego *A*, będącego jej środkiem, to cząsteczka *B* (rys. 62), jedna z tych, które są zawarte w kuli *DCF*, wytworzy swą falę własną *KCL*, która dotknie fali *DCF* w *C* w tej samej chwili, gdy fala główna, pochodząca z punktu *A*, dojdzie do *DCF*. Jasnem jest, że tylko okolica *C* fali *KCL* dotknie fali *DCF*, a mianowicie — ten jej punkt, który znajduje się na prostej, poprowadzonej przez *AB*. Podobnież inne cząsteczki, zawarte w kuli *DCF*, jak np. *bb*, *dd* i t. d., wytworzą każda swoją falę. Lecz każda z tych fal może być tylko nieskończenie słaba w porównaniu z falą *DCF*, do której wytworzenia przyczyniają się wszystkie inne tą częścią swej powierzchni, która jest najbardziej oddalona od środka *A* [1]).



Rys. 62.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

[1]) W tem miejscu i w następnych rozdziałach formułuje H u y g e n s i rozwija słynną swą zasadę, z której wynika teorja załamania i odbicia fal. Traktowanie zagadnienia przez oryginał jest zawilsze, niż wykład podręcznikowy obecnie przyjęty. Odsyłamy przeto czytelnika, pragnącego poznać teorję H u y g e n s a, do „Nauki fizyki" prof. Natansona i Zakrzewskiego, II, s. 137.

Zauważymy, że zasada H u y g e n s a w tej postaci, jaką jej nadał twórca, nie wytrzymuje krytyki. Jedna okoliczność odrazu rzuca się w oczy: fale cząstkowe mają dwie powierzchnie styczne, więc fale świetlne powinny się posuwać tak naprzód, jak i wstecz; tego zaś nigdy nie obserwujemy.

F r e s n e l uzupełnił zasadę H u y g e n s'a zasadą interferencji fal cząstko-

ROZDZIAŁ V.

**O osobliwem załamaniu kryształu Islandzkiego.**

Przywożą z Islandji, która jest wyspą Morza Północnego na wysokości 66-go stopnia, rodzaj kryształu lub kamienia przezroczystego, nader godnego uwagi ze względu na swe osobliwe załamania. Wydało mi się, że przyczyny tego załamania powinny wzbudzać tem większą ciekawość badacza, że pomiędzy ciałami przezroczystemi to jedyne nie podlega prawidłom zwykłym w stosunku do promieni światła. Przeprowadzenie tego badania wydawało mi się, poniekąd, koniecznem, ponieważ załamania w tym krysztale zdawały się obalać nasze poprzednie tłumaczenie załamania prawidłowego. Zobaczymy jednak, że znajduje ono wymowne potwierdzenie w sprowadzeniu tych zjawisk do tej samej zasady. W Islandji znajdują duże kawałki tego kryształu; widziałem takie, które miały po 4 i 5 funtów. Lecz rosną one i w innych krajach; gdyż miałem kryształ tego samego rodzaju, znaleziony we Francji około miasta Troyes w Szampanji, i inny pochodzący z wyspy Korsyki, chociaż i ten i tamten — mniej przezroczyste i tylko w małych kawałkach, zaledwie pozwalających obserwować jakiekolwiek załamania.

2. Pierwszą wiadomość publiczną o rzeczy tej zawdzięczam P. Erazmowi Bartholin'owi[1]), który dał opis kryształu Islandzkiego wraz z opisem głównych zjawisk, które można przy pomocy niego obserwować. Lecz nie omieszkam dać tu mego opisu, tak dla pouczenia tych, którzy nie widzieli jego książki, jako też i dlatego, że w niektórych zjawiskach zachodzi pewna niewielka różnica pomiędzy jego obserwacjami a mojemi. Dokładałem wielu starań, aby ściśle zbadać te własności załamania, chcąc osięgnąć całkowitą pewność, zanim przedsięwezmę wyjaśnienie jego przyczyn.

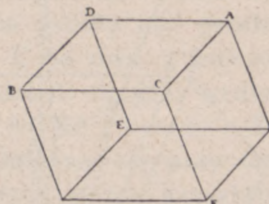
3. Jeśli zważymy na twardość tego kamienia, na jego łatwą łupliwość, to będziemy go musieli uważać raczej za rodzaj talku, niż za kryształ, albowiem ostrze żelazne rysuje go równie łatwo, jak talk lub jak alabaster, któremu dorównywa swą ciężkością.

4. Kawałki, które się znajduje, mają formę równoległościanu skośnego; każda z sześciu ścian jest równoległobokiem; daje się on łupać we wszystkich trzech kierunkach równolegle do dwu ścian prze-

wych; i w tej jednak formie teorja fal świetlnych jest niedoskonała. (Patrz uwagi do prac Fresnel'a).

[1]) Erazm Bartholin (1625—1694) zajmował się matematyką i medycyną. Znany jest jako odkrywca dwójłomności spatu islandzkiego.

ciwległych. Można go łupać, jeżeli sobie kto tego życzy, tak nawet aby wszystkie 6 ścian były rombami równemi i podobnemi. Rysunek tu dołączony (rys. 63) przedstawia kawałek tego kryształu. Kąty rozwarte wszystkich równoległoboków, jak tu kąty *C*, *D*, mają po 101 stopni 52 minuty, a zatem kąty ostre jak *A* i *B* — po 78 stopni 8 minut.



Rys. 63.

5. Co dotyczy kątów bryłowych, mamy dwa przeciwległe, jak *C*, *E*, z których każdy składa się z trzech kątów płaskich, rozwartych i równych. Sześć innych składa się z dwu kątów ostrych i jednego rozwartego. Wszystko, co teraz powiedziałem, było również zauważone przez P. B a r t h o l i n a w wyżej wspomnianym traktacie; różnimy się jeno cokolwiek co do wielkości kątów. Podaje on jeszcze kilka innych własności kryształu tego, a mianowicie: że, potarty o sukno, przyciąga źdźbła słomy i inne rzeczy lekkie, podobnie jak to czynią bursztyn, diament, szkło i wosk hiszpański; że kawałek jego, pokryty wodą w ciągu jednego dnia lub więcej, traci swój połysk naturalny; że kiedy nalać nań wody silnej, to ona powoduje wrzenie, osobliwie, jakem znalazł, jeżeli kryształ sproszkować [1]). Znalazłem również doświadczalnie, że można go ogrzać do czerwoności, przyczem nie doznaje on żadnej zmiany ani się nie staje mniej przezroczysty, — że jednak bardzo gwałtowny ogień zwapnia go. Jego przezroczystość nie jest bynajmniej mniejsza, niż przezroczystość wody lub kryształu górnego [2]), a przepuszcza on światło bezbarwne. Lecz promienie światła przechodzą przezeń innym sposobem i wywołują te zadziwiające załamania, których przyczyny sprobuję teraz wytłumaczyć, odkładając na koniec traktatu tego wypowiedzenie nowych przypuszczeń, dotyczących powstawania niezwykłej postaci tego kryształu.

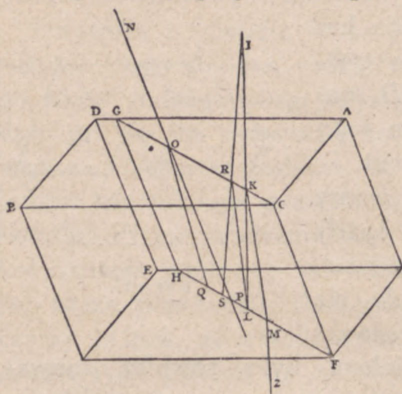
We wszystkich innych ciałach przezroczystych, które znamy, mamy tylko jedno proste załamanie, lecz w tem ciele mamy dwa różne. To powoduje, że przedmioty widziane przez to ciało, szczególnie te, które są bezpośrednio doń przyłożone, wydają się podwójnemi, i że promień słoneczny, padając na jedną z jego powierzchni, rozdziela się na dwa i tak przechodzi przez kryształ.

---

[1]) Woda silna („eau forte" oryginału) oznacza kwas; rozpuszcza on węglan wapnia, z którego się składa spat islandzki, wytwarzając dwutlenek węgla.

[2]) Kryształ górny — $SiO_2$ krystaliczny.

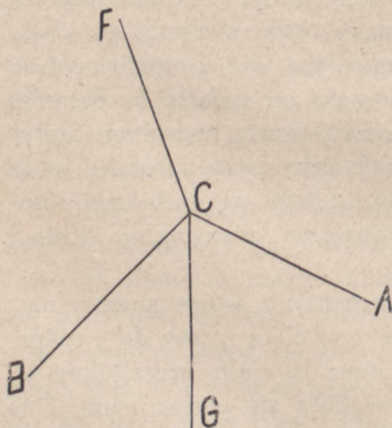
7. Jest jeszcze prawem powszechnem we wszystkich innych ciałach przezroczystych, że promień, który pada prostopadle na ich powierzchnię, przechodzi zupełnie prosto, nie doznając załamania, i że promień ukośny załamuje się zawsze. Lecz w tym krysztale promień prostopadły doznaje załamania i są promienie ukośne, które przechodzą zupełnie prosto.



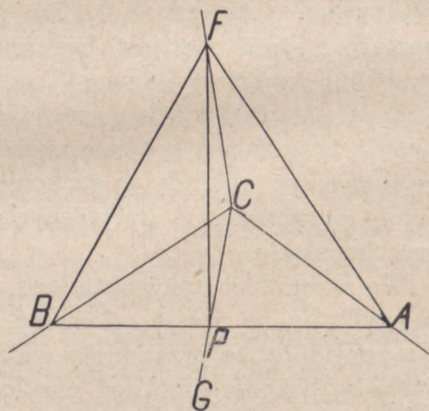
Rys. 64.

8. Aby jednak wytłumaczyć szczegółowiej te zjawiska, rozpatrzmy znowu kawałek tego kryształu *ABFE* (rys. 64), i niech prosta *CG* dzieli na dwie części równe kąt rozwarty *ACB*, jeden z trzech, które tworzą kąt bryłowy równoboczny *C*. Wyobraźmy sobie, że kryształ jest przecięty płaszczyzną, która przechodzi przez tę linję i przez krawędź *CF*. Płaszczyzna ta z konieczności będzie prostopadła względem powierzchni *AB* [1]), a jej przecięcie z kryształem da

[1]) Te same stosunki geometryczne przedstawimy na nieco odmiennym rysunku (rys. 65, litery te same, co i w tekście). Różni się on od podanego w tekście tem, że linja *CF* jest teraz skierowana dogóry zamiast nadół, a płaszczyzna *AB* zaj-



Rys. 65.



Rys. 66.

muje dolną część rysunku; inaczej mówiąc, widzimy teraz kąt bryłowy *C* od środka. Już zupełna symetryczność pł. *FCG* względem *ABC* (*CG* jest z założenia dwusieczną kąta *ACB*) pokazuje, że *FCG* musi być prostopadła do *ACB*. Czytel-

równoległobok *GCFH*. Przekrój ten nazwiemy przekrojem głównym kryształu.

9. Jeżeli teraz zakryjemy powierzchnię *AB*, pozostawiając na niej tylko mały otwór w punkcie *K*, wziętym na prostej *CG*, i jeżeli wystawimy kryształ na słońce tak, aby promienie padały nań prostopadle, to promień *IK* rozdzieli się w punkcie *K* na dwa, z których jeden dalej iść będzie prosto drogą *KL*, drugi odchyli się, idąc wzdłuż prostej *KM*, która znajduje się w płaszczyźnie *CGHF* i tworzy z *KL* kąt, wynoszący około 6 stopni 40 minut, zwracając się przy tem w stronę kąta bryłowego *C*. Wychodząc z drugiej strony kryształu, promień znów się skieruje wzdłuż *MZ* równolegle do *IK*. Wskutek tego załamania nadzwyczajnego widzimy punkt *M* za pośrednictwem promienia łamanego *MKI*, który, jak przypuszczamy, idzie do oka *I* [1]). Wynika więc stąd, że punkt *L* będzie widziany dzięki temu samemu załamaniu [2]) za pośrednictwem promienia łamanego *LRI*,—tak, iż *LR* będzie niemal równoległą względem *MK*, jeżeli się przypuszcza, że odległość oka *KI* jest bardzo duża [3]). A więc wydaje się, że punkt *L* leży jakby na linji *IRS*, lecz ten sam punkt, wskutek załamania

---

nik, którego ten dowód nie zadawala, wykaże łatwo prawdziwość powyższego twierdzenia zapomocą konstrukcj następującej (rys. 66). Połączmy na rysunku poprzednim (rys. 64) punkt *F* z punktem *P* na linji *CG* i przez *P* poprowadźmy prostopadłą *AB* do *CG*, która to prostopadła ma leżeć w pł. *ABC* Jeżeli dowiedziemy, że ona jest prostopadła również do linji *FP*, to wynikać będzie stąd zarazem, że jest ona prostopadła do płaszczyzny *FCG*, a zatem, — że i płaszczyzny *ABC* i *FCG* są względem siebie prostopadłe. Rozpatrzmy trzy pary trójkątów:

I. △ *ACP* i △ *BCP*.

Z konstrukcji wynika, że te trójkąty są prostokątne; bok *CP* mają wspólny i ∢ *BCG* = ∢ *ACG* z założenia. A więc trójkąty są sobie równe, stąd wynika że *BC* = *AC*.

II. △ *FCF* jest równy △ *ACF*, gdyż z założenia o tem, że kąty płaskie kąta bryłowego *C* są sobie równe, wynika, że ∢ *FCB* = ∢ *FCA*; bok *CF* jest wspólny i na podstawie poprzedniego *BC* = *AC*. Stąd wnioskujemy, że *FB* = *AF*.

III. △ *BFP* i △ *AFP* leżą w jednej płaszczyźnie i są sobie równe, gdyż, jak łatwo na zasadzie poprzedniego okazać, trzy ich boki są sobie równe. Wynika stąd, że kąty przyległe *BPF* i *APF* są proste, czego należało dowieść. *(Tł.)*.

[1]) Autor, nie uprzedzając czytelnika, przechodzi do rozpatrzenia przebiegu promieni w kierunku odwrotnym. Chodzi mu o wyjaśnienie, dlaczego punkt *L* widzimy podwójnie.

[2]) T. j. dzięki załamaniu nadzwyczajnemu *(przyp. tł.)*.

[3]) Gdyby punkt *I* znajdował się w nieskończoności, promienie *IB* i *IK* byłyby równoległe, a zatem i załamane promienie nadzwyczajne *BL* i *KM* również byłyby równoległe.

zwykłego, zdaje się również być na prostej *IK*, sądzimy więc z konieczności, że on jest podwójny. Podobnie, jeżeli *L* jest małym otworem w kartce papieru lub innej materji, którą przyłożymy do kryształu, wyda się nam, gdy go zwrócimy do światła, że są jakby dwa otwory. Będą one tem bardziej odległe jeden od drugiego, im większą grubość mieć będzie kryształ.

10. Obróćmy znów kryształ tak, aby promień słoneczny padający *NO*, który, jak przypuszczam, znajduje się w przedłużeniu płaszczyzny *GCFH*, utworzył z *CG* kąt 73 stopni 20 minut, będzie on zatem prawie równoległy do krawędzi *CF*, która tworzy z *FH* kąt 70 stopni 57 minut podług rachunku, który umieszczę w końcu. Promień ten rozdziela się w punkcie *O* na dwa promienie, z których jeden dalej iść będzie wzdłuż *OP* po linji, stanowiącej przedłużenie *NO*, i wyjdzie podobnie z drugiej strony kryształu, nie załamując się bynajmniej, zaś drugi promień załamie się i pójdzie wzdłuż *OQ*. Należy zauważyć, że jest to szczególną właściwością płaszczyzny *GCF* i tych płaszczyzn, które są względem niej równoległe, wszystkie promienie padające, które znajdują się w jednej z tych płaszczyzn, dalej się w tej płaszczyźnie znajdują się po wejściu do kryształu i po rozdwojeniu się. Gdyż, jak o okażemy później, zupełnie inaczej ma się rzecz w promieniach wszystkich innych płaszczyzn, które kryształy przecinają.

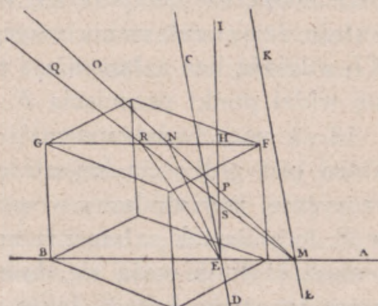
11. Znalazłem na początku zapomocą tych i niektórych innych doświadczeń, że z pomiędzy dwu różnych załamań, których promień doznaje w krysztale, jest jedno, które podlega prawidłom zwykłym i do tego właśnie załamania należą promienie *KL* i *OQ*. I dla tego też odróżniłem to załamanie zwyczajne od drugiego; a zmierzywszy je zapomocą spostrzeżeń dokładnych, znalazłem, że stosunek wstaw [1]) kątów, które tworzą promień padający i załamany z prostopadłą, równa się dość ściśle stosunkowi 5 do 3, co również znalazł p. B a r t h o l i n; stosunek ten jest zatem większy, niż w krysztale górnym lub szkle, gdzie równa sie mniej więcej $^3/_2$.

12. Dokładny sposób wykonania tych spostrzeżeń jest następujący. Na papierze, przymocowanym do bardzo równego stołu, należy nakreślić czarną linję *AB* (ob. rys. 67) i dwie inne *CED* i *KML*, które ją przecinają pod kątami prostemi; te linje mają być mniej lub więcej odległe jedna od drugiej, stosownie do tego, czy pragniemy rozpatrywać promień bardziej lub mniej ukośny. Kryształ należy umie-

---

[1]) Sinusów.

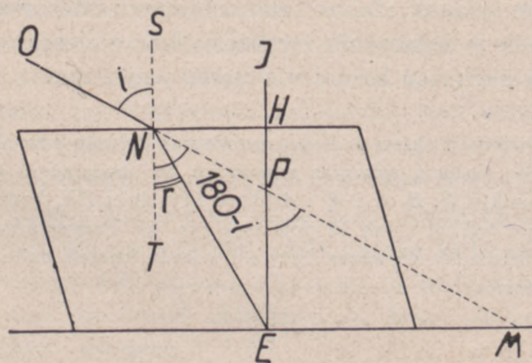
ścić na punkcie przecięcia *E* tak, aby linja *AB* odpowiadała dwusiecznej kąta rozwartego powierzchni dolnej lub jakiejkolwiek linji względem tamtej równoległej. Jeżeli wówczas umieścimy oko prosto nad linją *AB*, wyda się nam ona tylko pojedyńczą i zobaczymy, że część jej, widziana poprzez kryształ, i części, które się widzi nazewnątrz kryształu, spotykają się wdłuż linji prostej; lecz linja *CD* wyda się podwójną, i będzie się odróżniało obraz, który pochodzi z załamania prawidłowego, po tem, że się wydaje bardziej wzniesiony niż drugi, kiedy się patrzy obydwoma oczami, — lub też po tem, że przy obracaniu kryształu na papierze będzie on pozostawał nieruchomy podczas, gdy drugi obraz porusza się i obraca w kółko.




Rys. 67.

Umieścimy potem oko w *I* (pozostając ciągle w płaszczyźnie prostopadłej, poprowadzonej przez *AB*) tak, aby widziało, że obraz linji CD, pochodzący z załamania prawidłowego, tworzy jedną prostą z pozostałą częścią linji *CD*, która się znajduje zewnątrz kryształu[1]).

[1]) Przedstawmy bieg promieni w przekroju głównym, co resztą zaleca i oryginał w art. 13-tym. Oznaczenia na rysunku (rys. 68) są te same, co i w tekście.




Rys. 68.

Punkt *E*, umieszczony pod kryształem, wysyła szereg promieni w kierunkach różnych. Jeżeli chwilowo poprzestaniemy na rozpatrzeniu załamania zwyczajnego, to promień *EI*, prostopadły do podstawy kryształu, pozwoli nam wyznaczyć

Znacząc wówczas na powierzchni kryształu punkt *H*, gdzie się widzi przecięcie *E*, będziemy mieli punkt ten prosto ponad *E*. Potem usuniemy oko w stronę *O*, zawsze w płaszczyźnie prostopadłej, przez *AB* przechodzącej, tak, aby się wydawało, że obraz linji *CD*, który powstaje dzięki załamaniu zwyczajnemu, leży na jednej prostej z linją *KL* wdzianą bez załamania, i na krysztale naznaczymy punkt *N*, gdzie się widzi punkt przecięcia *E*.

13. A więc będziemy znali długość i pozycję linij *NH*, *EM* i *HE*, która jest grubością kryształu. Linje te narysujemy osobno na płaszczyźnie; jeśli dodamy wówczas linje *NE* i *NM*, która przecina *HE* w *P*, to stosunek załamania będzie równy stosunkowi *EN* do *NP*, ponieważ te linje mają się do siebie, jak wstawy kątów *NPH* i *NEP*, które są równe kątom, jakie promień padający *ON* i jego część załamana *NE* tworzą z prostopadłą do powierzchni. Stosunek ten, jakem powiedział, równa się dość dokładnie stosunkowi 5 do 3 i jest zawsze ten sam przy wszelkich nachyleniach promienia padającego.

14. Ten sam sposób obserwacji służył mi również do badania w krysztale tym załamania nadzwyczajnego lub nieprawidłowego. Albowiem, znalazłszy i naznaczywszy punkt *H* wprost na punkcie *E*, jak to było powiedziane, patrzałem na obraz linji *CD*, powstający wskutek załamania nadzwyczajnego; a umieściwszy oko w *Q* tak, żeby obraz dawał jednę prostą wraz z linją *KL*, widzianą bez załamania, znałem trójkąty *REH*, *RES*, a zatem — i kąty *RSH*, *RES*, które promień padający i załamany tworzą z prostopadłą [1]).

15. Znalazłem jednak, że w tem załamaniu stosunek *ER* do *RS* nie był stały, jak w załamaniu zwykłem, lecz zmieniał się odpowiednio do różnych nachyleń promienia padającego.

---

punkt *H*. Potem szukamy okiem takiego promienia, którego przedłużenie przechodzi przez punkt *M*; możemy wówczas naznaczyć no powierzchni górnej kryształu punkt *N*. Mając punkty *N*, *H*, *E* i *M* i grubość kryształu *HE*, będziemy mogli wykreślić odpowiednie trójkąty, jak to pokazuje rys. 67. Poprowadźmy jeszcze prostopadłą *ST* w punkcie *N*. Wówczas kąty *i* i *r* będą kątami padania i załamania. Spółczynnik załamania

$$n = \frac{Sin\ i}{Sin\ r}$$

Stosunek ten znajdziemy z trójkąta *NPE*.

$$\frac{Sin\ i}{Sin\ r} = \frac{NE}{NP}$$

czego należało dowieść.

[1]) Wywód nie różni się niczem od poprzedniego; jedynie — zamiast promienia zwyczajnego bierzemy nadzwyczajny.

18. Ponieważ były dwa załamania różne, więc wywnioskowałem, że były również wysyłane i dwie fale świetlne... Przypisywałem rozchodzeniu się fal w tem środowisku eterowem załamanie prawidłowe, które obserwujemy w tym kamieniu; uczyniłem przypuszczenie, że te fale, jak zwykłe, są formy kulistej i posiadają mniejszą prędkość rozchodzenia się wewnątrz kryształu, niż nazewnątrz, a, jakem wykazał, wynika stąd załamanie.

19. Co dotyczy drugiego wypromieniowywania, które miało wywoływać załamanie nieprawidłowe, chciałem sprobować, coby dały fale eliptyczne, lub, lepiej mówiąc, sferoidalne, co do których przypuszczałem, że rozchodzą się zarówno w materji eterowej, znajdującej się w krysztale, jako też — w cząsteczkach, z których się składa kryształ... Zdawało mi się, że rozmieszczenie czyli ułożenie regularne tych cząsteczek mogło sprzyjać powstawaniu fal sferoidalnych (albowiem potrzeba na to tylko, aby stopniowe rozchodzenie się światła odbywało się nieco prędzej w jednym kierunku, niż w drugim), nie wątpiłem prawie zupełnie, że jest w krysztale tym taki rozkład cząsteczek równych i podobnych; a wnosiłem o tem z racji jego postaci i jego kątów o mierze określonej i niezmiennej. Co się tyczy cząsteczek tych, ich formy i rozkładu, przedstawię na końcu traktatu tego moje przypuszczenia i pewne doświadczenia, które je potwierdzają.

20. Podwójne wysyłanie fal świetlnych, które sobie wyobrażałem, stało się dla mnie bardziej prowdopodobnem, gdy zauważyłem pewne zjawisko w krysztale zwykłym [1]). Ten ostatni rośnie w formie sześciokątnej; dzięki tej regularności wydaje się, iż składa się on również z cząsteczek określonej formy, ułożonych w porządku. Spostrzeżenie moje polegało na tem, że kryształ ten posiada załamania podwójne podobnie, jak i krzyształ Islandzki, choć mniej widoczne. Albowiem, kiedy kazałem zeń wyciąć w różnych przekrojach pryzmaty dobrze polerowane, zauważyłem we wszystkich, patrząc przez nie na płomień świecy lub też na ołów szyb, które są w oknach, że wszystko wydawało się podwójnem, choć obrazy były od siebie mało odległe. Zrozumiałem stąd powód, dlaczego to ciało tak przezroczyste nie da się użyć do lunet zbliżających, kiedy te ostatnie mają choć trochę większą długość.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

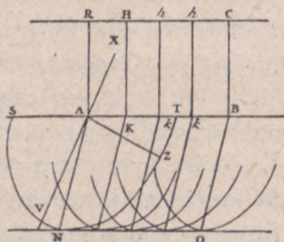
22. Przypuszczając tedy istnienie tych fal sferoidalnych, oprócz fal sferycznych, zacząłem badać, czyby one nie mogły służyć do wytłu-

---

[1]) To jest w kwarcu.

maczenia zjawisk załamania nieprawidłowego; zarazem starałem się dociec, jakbym mógł zapomocą tych właśnie zjawisk określić postać i przyczynę sferoid, w czem wreszcie uzyskałem pożądane powodzenie, postępując niżej podanym sposobem.

23. Rozpatrzyłem przedewszystkiem skutek fal tak wytworzonych, biorąc za punkt wyjścia promień, który pada prostopadle na powierzchnię płaską ciała przezroczystego, w którem te fale rozchodzą się takim sposobem. Założyłem, że *AB* jest odsłoniętą częścią powierzchni (ob. rys. 69). Ponieważ promień prostopadły do płaszczyzny, pochodzący z odległego źródła świetlnego, podług teorji poprzedniej niczem innem nie jest, jeno częścią fali równoległej do tej płaszczyzny, więc uczyniłem przypuszczenie, że prosta *RC*, równa i równoległa do *AB*, jest częścią fali świetlnej, której punkty nieskończenie odległe *RHhC* spotykają powierzchnię *AB* w punktach *AKkB*. A zatem zamiast fal cząstkowych półsferycznych, które w ciele o załamaniu zwykłem powinny były rozchodzić się od każdego z tych ostatnich punktów, jakeśmy wyjaśnili powyżej rozważając załamania, tu powinny były powstawać półsferoidy. Założyłem, że ich osi lub, inaczej mówiąc, średnice wielkie są ukośne względem płaszczyzny *AB*; taką osią jest np. linja *AV*, równa $^1/_2$ osi lub $^1/_2$ średnicy wielkiej sferoidy *SVT*, która stanowi falę cząstkową, wychodzącą z punktu *A*, po dojściu *RC* do *AB*.



Rys. 69.

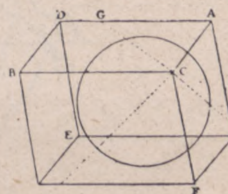
. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Otóż, o ile weźmiemy pewien przeciąg czasu, w ciągu którego utworzyła się fala *SVT*, pochodząca z punktu *A*, to z konieczności i we wszystkich innych punktach *KkB* w ciągu tegoż czasu powstaną fale podobne i podobnież ułożone, jak *SVT*. I wspólna styczna *NQ* tych wszystkich połówek elipsy musiałaby stanowić, podług teorji powyższej, bieg fali *RC* w danem ciele przezroczystem. Albowiem linja ta stanowi w danej chwili granicę ruchu, który był wywołany przez falę *RC*, padającą na *AB*, i na tej linji mamy daleko więcej ruchu, niż gdziekolwiekbądź indziej, gdyż składa się ona z niezliczonej liczby łuków elips, których środki znajdują się na linji *AB*.

24. Otóż wydawało się, że ta wspólna styczna *NQ* jest równoległa do *AB* i jest tej samej długości, lecz — nie leży bezpośrednio naprzeciw niej, ponieważ jest zawarta pomiędzy linjami *AN* i *BQ*,

które są średnicami sprzężonemi względem średnic elips, które leżą na linji $AB$; elipsy te mają swe środki w $A$ i $B$[1]). I tym sposobem zrozumiałem, co mi się wydawało nader trudnem do zrozumienia, — jak promień prostopadły do powierzchni mógł doznawać załamania, przechodząc do środka ciała przezroczystego; widziałem bowiem, że fala $RC$, doszedłszy do otworu $AB$, biegła dalej naprzód pomiędzy równoległemi $AN$ i $BQ$, pozostając jednak wciąż równoległą do $AB$; tak, iż tu światło nie rozchodzi się wzdłuż linij prostopadłych do swych powierzchni falowych, jak w załamaniu zwykłem, lecz linje te przecinają fale ukośnie.

25. Poszukując potem, jaką mogła być przyczyna i forma sferoid w krysztale, wziąłem pod uwagę, że wszystkie ściany w liczbie sześciu wytwarzają ściśle te same załamania. Powracając więc do równoległościanu $AFB$ (rys. 70), którego kątem bryłowym rozwartym, znajdującym się pomiędzy trzema płaskiemi równemi, jest $C$, pomyślałem sobie trzy przekroje główne, z których jeden jest prostopadły do ściany $DC$ i przechodzi przez krawędź $CF$, drugi, przechodząc przez krawędź $CA$, jest prostopadły do ściany $BF$ i trzeci, prostopadły do ściany $AF$, przechodzi przez krawędź $BC$. Widziałem, że załamania promieni padających, należących do tych trzech płaszczyzn, są wszystkie jednakowe. Lecz nie mogło być innej sferoidy, którąby była w tym samym stosunku względem tych trzech przekrojów, niż sferoida, której oś była zarazem osią kąta bryłowego $C$. Biorąc to za punkt wyjścia, dostrzegłem, że oś tego kąta, to jest prosta, która z punktu $C$ przechodziła przez kryształ, mając jednakowe nachylenie względem krawędzi $CF$, $CA$, $CB$, była linja, którą określała położenie osi wszystkich fal sferoidalnych, których powstawanie w jakimkolwiek punkcie, wziętym wewnątrz lub na powierzchni kryształu, moglibyśmy sobie wyobrazić; gdyż wszystkie te sferoidy musiały być do siebie podobne i musiały mieć osi względem siebie równoległe.



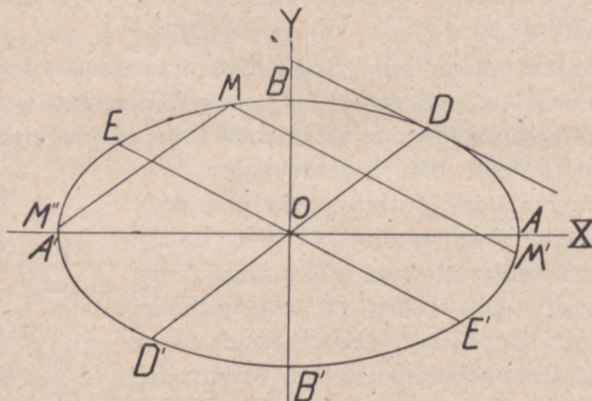
Rys. 70.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

[1]) Średnica sprzężona z inną dzieli na połowę tę ostatnią i wszystkie cięciwy względem niej równoległe. Tak np. na rys. 71 cięciwa $DD'$ jest sprzężona z cięciwą $EE'$. Każda średnica przecina elipsę w dwu punktach; jeżeli poprowadzimy

43... Lecz aby każdy, kto będzie posiadał okaz tego kamienia, mógł znaleźć drogą własnego doświadczenia prawdziwość tego, co wykazałem, powiem tu o sposobie, którym się posługiwałem, aby kamień rznąć i wygładzać. Rznąć można go łatwo zapomocą ostrych kół szlifierskich, lub też tym sposobem, jakim piłuje się marmur; lecz polerowanie jest bardzo trudne i, używając zwykłych środków, prędzej się niszczy połysk powierzchni, niż się je czyni błyszczącemi. Po wielu próbach znalazłem nareszcie, że nie trzeba bynajmniej




Rys. 71.

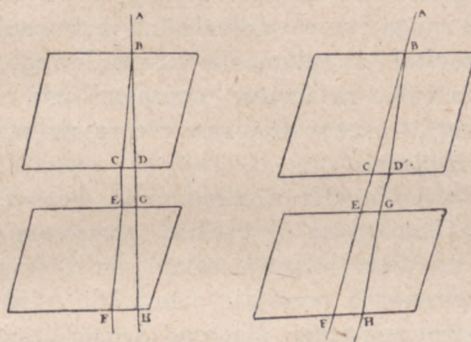
używać do tego celu płyty metalowej, lecz szkła lustrzanego, matowego pozbawionego połysku. Na niem, zapomocą miałkiego piasku i wody wygładza się powoli kryształ podobnie, jak to się czyni ze szkłami lunet; poleruje się, pracując dalej i zmniejszając wciąż ilość materji szlifierskiej. Nie potrafiłem jednak nadać kryształowi jasności i przezroczystości doskonałej; lecz osiągana równość płaszczyzn sprawia, że obserwuje się na nich skutki załamania lepiej niż na płaszczyznach, otrzymywanych przy łupaniu kamieni, gdyż płaszczyzny takie zawsze mają pewne nierówności.

A nawet, gdy powierzchnia jest tylko średnio wygładzona, staje się ona nader przezroczystą, gdy ją potrzeć odrobiną oliwy lub białka; tym sposobem wykrywa się wówczas załamanie nader wyraźnie. Ten środek pomocniczy jest konieczny zwłaszcza, gdy się pragnie polerować powierzchnie naturalnie, aby zdjąć z nich nierówności; gdyż nie

styczne w tych punktach, to będą one równoległe do średnicy sprzężonej z daną średnicą. Dowód tych związków znajdzie czytelnik w podręcznikach geometrji analitycznej.

można uczynić ich błyszczącemi na wzór powierzchni innych przekrojów, które tem lepszego nabierają połysku, im mniej się zbliżają do tych płaszczyzn naturalnych.

Zanim zakończę rozpatrywanie tego kryształu, podam jeszcze wiadomość o zjawisku zadziwiającem, które odkryłem po napisaniu wszystkiego powyższego. Albowiem, choć dotąd nie mogłem znaleźć jego przyczyny, nie chcę dla tego zaniechać wskazania go, aby innym dać możność poszukiwania. Zdaje się, że należałoby uczynić jeszcze inne przypuszczenia oprócz tych, które ja uczyniłem; jednak, pomimo to, moje założenia zachowują całe swe prawdopodobieństwo, albowiem były przecież potwierdzone tyloma doświadczeniami [1]).




Rys. 72.

Zjawisko polega na tem, że, biorąc dwa kawałki kryształu tego i przykładając jeden do drugiego, bądź też pozostawiając pomiędzy nimi odstęp, zauważymy, co następuje. Jeżeli wszystkie krawędzi jednego są równoległe do krawędzi drugiego, wówczas promień światła, jak *AB* (rys. 72) rozszczepi się na dwa w pierwszym kawałku, mianowicie — na *BD* i *BC*, stosownie do dwu załamań: prawidłowego i nieprawdłowego; przenikając stąd do drugiego kawałka, każdy z promieni przejdzie przezeń, nie dzieląc się więcej na dwa; lecz promień, który był wytworzony przez załamanie prawidłowe, jak tu *DG*, da potem tylko załamanie prawidłowe wdłuż *GH*, a drugi — nieprawiłowe wzdłuż *EF*. I ta sama rzecz zachodzi nie tylko w tej pozycji, lecz również i w tych wszystkich, w których przekroje główne

[1]) Zjawisko opisane poniżej, związane jest z polaryzacją światła. Historja potwierdziła słuszność przewidywań Huygens'a; Fresnel wytłumaczył zjawiska polaryzacji, zakładając poprzeczność drgań świetlnych.

jednego i drugiego kawałka znajdują się w tej samej płaszczyźnie, nie jest też potrzebnem, żeby powierzchnie do siebie zwrócone były równoległe. Otóż jest rzeczą zdumiewającą, że promienie *CE* i *DG*, przechodząc z powietrza do kryształu dolnego, nie dzielą się jak promień pierwszy *AB*. Gotowibyśmy powiedzieć, że promień *DG*, przechodząc przez górny kawałek kryształu, utracił to, co jest niezbędnem do poruszania materji, która służy do załamania nieprawidłowego, i — że *CB* ze swej strony również stracił to, czego trzeba do poruszania materji, która służy do załamania prawidłowego; lecz jest jeszcze inna okoliczność, która obala to rozumowanie. A mianowicie, kiedy umieścimy dwa kryształy tak, że płaszczyzny, stanowiące przekroje główne, przecinają się pod kątem prostym (zaś powierzchnie do siebie zwrócone mogą być równoległe lub nierównoległe), wówczas promień, który powstał z załamania prawidłowego, jak *DG*, daje w kawałku dolnym tylko załamania nieprawidłowe, a przeciwnie — promień, który powstał przez załamanie nieprawidłowe, jak *CE*, daje tylko załamanie regularne.

Lecz we wszystkich innych nieskończenie licznych położeniach, oprócz tych, które dopiero co określiłem, promienie *DG*, *CE* dzielą się znowu każdy na dwa, wskutek załamania w krysztale dolnym; tak, iż z jednego promienia powstają cztery, to jednakowej jasności, to znów — jedne znacznie mniej jasne od drugich, zależnie od różnic w zbiegu pozycji kryształów; jednak wydaje się, że wszystkie razem nie mają więcej światła, niż jeden jedyny promień *AB*.

Jeżeli się tu zważy, że promienie *CE*, *DG* pozostają te same, a jednak od pozycji, którą nadajemy kryształowi dolnemu, zależy to, czy on podzieli każdy z nich, czy też nie, gdy tymczasem promień *AB* zawsze się dzieli, to, zdaje się, jesteśmy zmuszeni przypuścić, że fale świetlne, wskutek przejścia przez kryształ pierwszy, nabierają pewnej formy lub dyspozycji, wskutek której, spotykając tkaninę drugiego kryształu w pewnem położeniu, mogą poruszać obydwie różne materje, które służą do dwu rodzajów załamania; spotykając zaś ten drugi kryształ w pozycji innej, mogą poruszać tylko jedną z tych materyj. Lecz, jeżeli mam powiedzieć, jak to się dzieje, to przyznaję, iż dotychczas nie znalazłem nic, coby mnie zadawalało.

---

## Rozdział VI.

### TOMASZ YOUNG.

*(1773 — 1829).*

TOMASZ Young był najmłodszem z pomiędzy dziesięciorga dzieci. Odznaczał się niezwykle przedwczesnym rozwojem umysłowym. Niepohamowana żądza wiedzy pchała go do usilnych studjów w różnorodnych kierunkach. Zajmował się matematyką, fizyką, naukami biologicznemi, medycyną, językoznawstwem, archeologją i filozofją. Miał kiedyś Young powiedzieć, że każdy człowiek może zrobić to, co przed nim już zrobił ktoś inny. Ten pogląd stwierdzał własnym przykładem. Oprócz swej działalności naukowej i praktyki lekarskiej zajmował się też Young muzyką, atletyką, jazdą konną i utrzymywał nader rozległe stosunki towarzyskie; grał na wszystkich instrumentach znanych, a woltyżerów zadziwiał sztukami w konnej jeździe.

Medycynę studjował kolejno w Londynie, Edynburgu, Getyndze i w Cambridge, gdzie uzyskał też stopień doktora. W roku 1801 został mianowany profesorem fizyki w Royal Institution; wynikiem opracowywania wykładów było dzieło „Course of lectures on Natural Philosophy". (Wykłady fizyki, 1807). Był też sekretarzem Królewskiego Towarzystwa Nauk i sekretarzem Biura Miar.

Główną zasługę Young'a stanowi wskrzeszenie teorji falowej światła i wykrycie interferencji, które to słowo przez niego właśnie zostało wprowadzone. Doświadczenia Young'a nie zwróciły na siebie należytej uwagi, natomiast teorja jego wywołała żywy protest ze strony zwolenników idei Newton'owskich. Jeden z przeciwników Young'a (być może lord Brougham, powodowany względami natury osobistej) ogłosił w poważnem i poczytnem Edinburgh Review artykuł, w którym wykazywał nicość umysłu i pracy naukowej Young'a, i przypominał Towarzystwu Królewskiemu obowiązek szanowania wielkiej pamięci Newton'a. Artykuł był

zjadliwy i bardzo dowcipnie napisany. Dość nieokreślone wyobrażenia Y o u n g'a o charakterze ruchu falowego, wytwarzającego zjawiska świetlne, dały pochop do złośliwych uwag o „drgającym i falującym sposobie rozumowania". Y o u n g probował się bronić, lecz broszura, którą wydał w tej kwestji, znalazła tylko jednego nabywcę. Rozgoryczony porzuca wówczas na dłuższy czas swe badania w dziedzinie optyki. Dopiero po kilkunastu latach ruch naukowy, idący z Francji, daje Y o u n g'owi uznanie i w jego własnej ojczyźnie. Na czele tego ruchu stali F r e s n e l i A r a g o (ob. następne rozdziały niniejszej książki).

W ciągu ostatnich lat życia Y o u n g z żywem zajęciem śledził dalszy rozwój teorji falowej. Umarł w r. 1829.

## O teorji światła i barw. Przez Tomasza Younga, M. D. F. R. S., profesora fizyki w Royal Institution [1]).

Odczytany 12 listopada r. 1801.

Chociaż odnajdywanie prawdopodobnych hipotez, niezależnych od jakiegokolwiek związku ze spostrzeżeniami eksperymentalnemi, może być bardzo mało pożyteczne w postępie nauk przyrodniczych, to jednak musimy się zgodzić w każdym razie, iż odkrycie prostych i jednostajnych zasad, zapomocą których wielka liczba pozornie różnorodnych zjawisk sprowadza się do praw powszechnych, ze sobą powiązanych, ma doniosłość ogromną w procesie doskonalenia się umysłowości ludzkiej.

Przedmiotem rozprawy niniejszej jest nie tyle wypowiedzenie jakichkolwiek poglądów, któreby były bezwzględnie nowe, ile powiązanie pewnych teoryj, które już zostały rozwinięte, z imionami ich rzeczywistych odkrywców, — poparcie tych teoryj dodatkowemi dowodami i zastosowanie ich do wielkiej liczby faktów rozmaitych, które dotychczas były okryte mrokiem. W tym względzie nie jest bezwarunkowo koniecznem wykonanie choć jednego nowego eksperymentu; albowiem istnieje już obszerny zapas eksperymentów, które tembardziej nie mogą być wykluczone z pod rozpatrzenia, że musiały być wykonane bez najmniejszego zwracania uwagi na systemat, zapomocą którego miały być wytłumaczone; będą tu jednak przed-

---

[1]) The Bakerian lecture. On the theory of light and colours. By Thomas Y o u n g, M. D. F. R. S. Professor of Natural Philosophy in the Royal Institution. Philosophical Trasactions of the Royal Society of London 1802, cz. I, str. 12.

stawione i pewne fakty, dotąd nieobserwowane, w celu okazania doskonałej zgodności systematu z różnorodnemi zjawiskami natury.

Niema jeszcze obserwacyj, któreby mogły rywalizować z optycznemi spostrzeżeniami Newton'a, i, za wyjątkiem pewnych niedokładności przypadkowych, podnoszą się one tylko w naszem mniemaniu, kiedy je porównywamy z późniejszemi próbami ich wydoskonalenia. Dalsze rozważania barw cienkich płytek, jakie są opisane w drugiej księdzie Optyki Newtona, zamieniły moją skłonność do przyjęcia teorji falowej światła, w silne przekonanie o jej prawdziwości i dostateczności. Zjawiska w cienkich płytkach są w rzeczy samej tak osobliwe, że ich charakter skomplikowany z trudnością daje się pogodzić z jakiemikolwiek teorjami, chociażby najbardziej zawiłemi, które były dotychczas do nich stosowane; niektóre z głównych cech zjawiska nigdy nie były wyjaśnione zapomocą najbardziej dowolnych założeń; okaże się jednak, że najdrobniejsze szczegóły tych zjawisk nietylko doskonale zgadzają się z teorją, którą tu wyłożę, lecz — są wszystkie koniecznemi konsekwencjami tej teorji. Może to być osiągnięte bez żadnych przypuszczeń pomocniczych i — zapomocą wywodów tak prostych, iż zjawiska te stają się poszczególnemi wnioskami teorji, które zaledwie wymagają osobnego wyliczania.

Obszerniejsze rozpatrzenie różnych pism Newtona pokazało mi, że był on w rzeczywistości pierwszym, który nasuwał myśl o takiej teorji, jaką będę się starał podtrzymywać, że jego własne poglądy mniej się różniły od tej teorji, niż się teraz powszechnie przypuszcza, że wysunięto różnorodne argumenty, aby zbić rzekomo zdanie jego, one zaś niemal w podobnej formie mogą być znalezione w jego własnych dziełach; było to czynione przez matematyka tej miary, co Leonard Euler, którego systemat światła, o ile warto o nim wspominać, był lub mógł być zapożyczony całkowicie od Newtona, Hooke'a, Huygensa i Malebranche'a [1]).

Podaje dalej Young szereg hipotez i twierdzeń, powołując się wciąż na ustępy z Newtona. Przechodzimy odrazu do rozdziału, traktującego o barwach interferencyjnych.

---

[1]) Z podanych w książce niniejszej wyjątków z „Optyki" Newton'a wynika w sposób oczywisty, że oceniał on należycie wartość teorji falowej, skłaniał się zaś ku teorji emisyjnej jedynie na skutek nieprzezwyciężonych trudności, jakie nastręczała wówczas teorja falowa w stosunku do zjawisk polaryzacji i prostolinjowego biegu światła (ob. str. 227 i następne).

**O barwach cienkich warstewek.**

. . . . . . . . . . . . . . . .

Niech ośrodek pomiędzy dwiema powierzchniami będzie rzadszy, niż ośrodek otaczający; wówczas impuls, odbity od drugiej powierzchni, napotykając na powierzchni pierwszej falowanie, postępujące w ślad za pierwszem, nada cząsteczkom środowiska rzadszego zdolność zupełnego zatrzymania ruchu środowiska gęstszego; przez zniszczenie światła odbitego promienie te będą silniej wprawiane w ruch, niż gdyby były w spoczynku: światło przechodzące będzie wzmocnione. Tak więc, kiedy podwójna grubość lub odstępy opóźnienia będą jakiemikolwiek wielokrotnemi całkowitych szerokości falowań, to barwy, powstające wskutek odbicia, będą znoszone, a barwy światła przechodzącego będą żywsze. Przy grubościach pośrednich skutki będą odwrotne; zgadza to się z obserwacjami Newtona[1]).

. . . . . . . . . . . . . . . .

Z pomiarów Newtona, dotyczących grubości warstewek, które odbijają różne barwy, można nader dokładnie określić szerokość i czas trwania odnośnych falowań barw różnych; choć nie jest nieprawdopodobnem, że, kiedy się szkła bardzo zbliżają do siebie, to atmosfera eteru może wywołać pewną małą nieregularność. Całe widmo widzialne wydaje się zawartem w obrębie stosunku trzech do pięciu lub — seksty większej w muzyce; a drgania czerwonej, żółtej i błękitnej barwy mają się do siebie pod względem wielkości, jak liczby 8, 7 i 6; tak,—iż interwał pomiędzy czerwienią a błękitem jest kwartą. Bezwzględna częstość wyraża się liczbami zbyt wielkiemi, aby je można było jasno sobie przedstawić, lecz można to sobie lepiej wyobrazić przez porównanie z głosem. Gdyby struna, która wydaje tenorowe *c*, mogła być czterdziestokrotnie dzielona, — za każdym razem na połowę, i gdyby miała wówczas drgać, dawałaby światło zielonkawo-żółte; gdybyśmy je oznaczyli przez $\overset{41}{c}$, skrajna czerwień wyrażałaby się przez $\overset{40}{a}$, a błękit — przez $\overset{41}{d}$. Bezwzględna długość

[1]) Długość fali λ nazywa Young szerokością falowań. Podług obecnie przyjętego poglądu promienie światła jednorodnego przy różnicy dróg, równej całkowitej liczbie fal, wzmacniają się wzajemnie. Zakładając, że się one w tym przypadku wzajemnie znoszą, nie popełnia Young błędu we wnioskach ostatecznych, gdyż pomija również zachodzącą przy odbiciu od środowiska gęstszego stratę połowy fali.

i częstość każdego drgania jest wyrażona w tablicy; przypuszczamy, że światło przebiega 500000000000 stóp w ciągu $8^1/_6$ minuty[1]).

| Barwy | Długość fali w powietrzu w częściach cala | Liczba fal w calu | Liczba falowań na sekundę |
|---|---|---|---|
| Skrajna | .0000266 | 37640 | 463 miljonów miljonów |
| Czerwień | .0000256 | 39180 | 482 |
| Pośrednia | .0000246 | 40720 | 501 |
| Pomarańczowa | .0000240 | 41610 | 512 |
| Pośrednia | .0000235 | 42510 | 523 |
| Żółta | .0000227 | 44000 | 542 |
| Pośrednia | .0000219 | 45600 | 561 (=prawie $2^{43}$) |
| Zielona | .0000211 | 47460 | 584 |
| Pośrednia | .0000203 | 49320 | 607 |
| Błękitna | .0000196 | 51110 | 629 |
| Pośrednia | .0000189 | 52910 | 652 |
| Indygo | .0000185 | 54070 | 665 |
| Pośrednia | .0000181 | 55240 | 680 |
| Fiołkowa | .0000174 | 57490 | 707 |
| Skrajna | .0000167 | 59750 | 735 |

Przypisek. Co się tyczy wszystkich tych zjawisk, nie zadowoliłem się dopóty, dopóki nie znalazłem w Mikrografji Hooke'a[2])

[1]) Zakładając, iż stopa angielska = 0,305 m., znajdziemy na prędkość światła około 311000 km./sek. Długości fal, które znajdujemy w tabelce Younga, zgadzają się doskonale z ich wartościami rzeczywistemi. Biorąc cal angielski = 2.54 cm., otrzymamy np. na długość fali barwy zielonej 0,000536 mm., liczbę, odpowiadającą mniej więcej środkowi części widma zielonej; podobnież — i w innych przypadkach.

[2]) Robert Hooke (1635 — 1703) był wybitnym eksperymentatorem i niepospolitym wynalazcą. Różnostronny i żywy umysł jego nie umiał się skupić na pewnych zagadnieniach, czemu przypisać należy, że działalność Hooke'a mniej była owocna, niżli pozwalały się spodziewać jego genjalne zdolności. Badania optyczne naprowadziły Hooke'a na myśl o falowej naturze światła, choć jego wyobrażenia w tym względzie były jeszcze zbyt nieokreślone.

Hooke był jednym z najczynniejszych członków Królewskiego Towarzystwa Nauk. Brał żywy udział we wszelkich dysputach i podawał na posiedzeniach

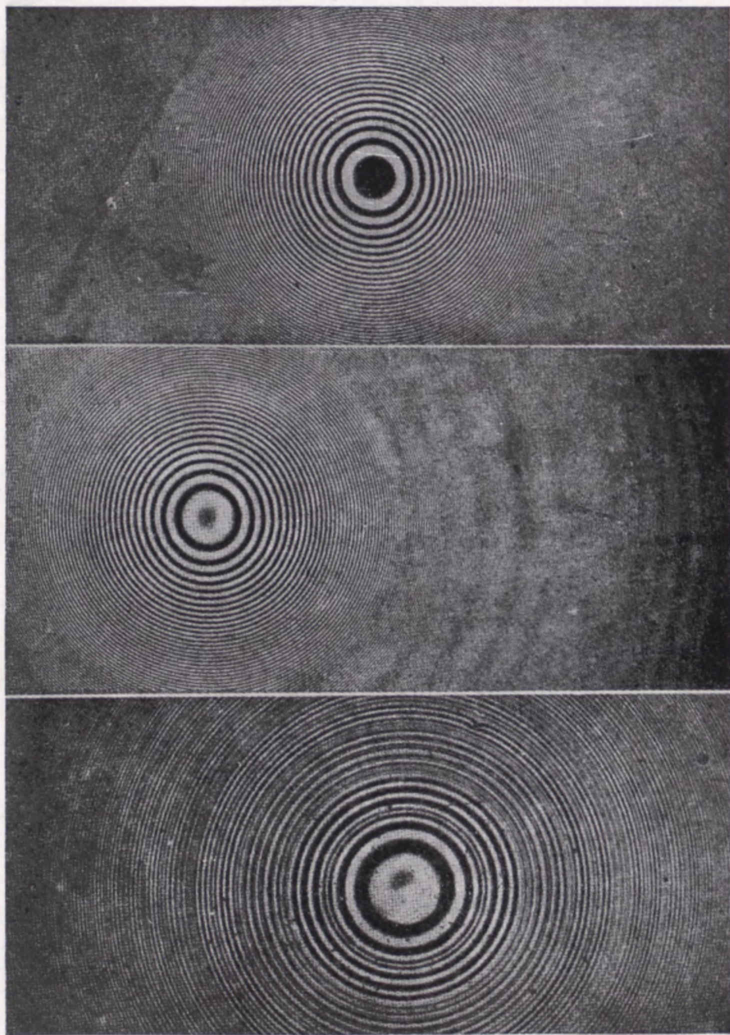
ustępu, który mógł był doprowadzić mnie wcześniej do podobnego wniosku. „Jest rzeczą najwidoczniejszą, że odbicie od dolnej lub dalszej strony ciała jest główną przyczyną wytwarzania tych barw. Niech promień pada ukośnie na cienką płytkę, część jego jest wówczas odbita napowrót przez pierwszą powierzchnię, a część — załamana w kierunku powierzchni drugiej, gdzie powtórnie doznaje odbicia i załamania. Tak, że po dwu załamaniach i jednem odbiciu biegnie tam rodzaj promienia słabszego, — zaś wskutek czasu, straconego przy przejściu tam i napowrót, ta słabsza pulsacja pozostaje w tyle za pulsacją wcześniej odbitą; dzięki temu (powierzchnie bowiem są tak blisko siebie, że oko nie może odróżnić dwu od jednej) owa zmieszana pulsacja, której silniejsza część idzie na przedzie, a słabsza znajduje się w tyle, wywołuje na siatkówce wrażenie barwy żółtej. Kiedy te powierzchnie są dalej od siebie odsunięte, słabsza pulsacja może napotkać odbicie drugiej, czyli najbliższej z kolei pulsacji od powierzchni pierwszej, może jednak spóźnić się jeszcze i w stosunku do tej i napotkać trzecią, czwartą, piątą, szóstą, siódmą lub ósmą; tak, że jeżeli mamy cienkie ciało przezroczyste, które od najcieńszej warstewki, potrzebnej do wytworzenia barw, stopniowo przechodzi aż do największej grubości, barwy będą się powtarzały tylekroć, ilekroć słabsza pulsacja pozostaje w tyle za swą początkową lub pierwszą pulsacją i napotyka „śladem idącą" pulsację. Że zaś przy ich spotkaniu powstają kolory, wynika to z pierwszej hipotezy o barwach, którą postawiłem, jako też z doświadczeń, które, jak się przekonałem, w mnóstwie wypadków zdają się tego dowo-

---

Towarzystwa niezliczoną ilość projektów różnych badań, które nigdy nie miały być wykonane. Był H o o k e charakteru popędliwego i swarliwego; prowadził nieustanne spory o pierwszeństwo odkryć i wynalazków; między innemi: z H u y g e n s'em co do wynalezienia zegara wahadłowego i sprężyny do poruszania zegarków przenośnych; z N e w t o n'em — o odkrycie prawa ciążenia powszechnego.

Sam H o o k e był powierzchowności oryginalnej: wątły, krzywonogi, z twarzą pomarszczoną; długie loki spadały mu nieporządnie aż do ramion.

Wady i śmieszności H o o k e'a nie powinny jednak rzucać cienia na jego prawdziwe zasługi. Prawdą jest bowiem, że już przed dociekaniami N e w t o n'a wypowiedział on myśl o wzajemnem przyciąganiu się ciał niebieskich w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości, choć nie poparł tej idei obliczeniami; przed N e w t o n'em również wykonał doświadczenie z pierścieniami barwnemi; po G r i m a l d i'm, lecz niezależnie odeń, odkrył dyfrakcję światła. Dokonał też wielu pożytecznych wynalazków w dziedzinie mechaniki.



Rys. 73.

Górne zdjęcie daje prążki N e w t o n a w jednobarwnem zielonem świetle. Środkowe odpowiada oświetleniu zielonem śwatłem i żółtem naraz. Prócz prążków zasadniczych widzimy dodatkowe perjodyczne wahania, wynikające stąd, że w miejscach maximów jednej barwy wypadają minima drugiej. Jeszcze bardziej skomplikowany obraz otrzymujemy na 3-ciem zdjęciu, gdzie użyto pełnego promieniowania lampy łukowej rtęciowej, zawierającego, prócz linij żółtych i zielonych, jeszcze linje niebieskie i fiołkowe (Wood, Physical Optics).

dzić"[1]). Było to wydrukowane około siedmiu lat wcześniej, zanim Newton wykonał którekolwiek z doświadczeń swych. Newton informuje nas, że Hooke później był skłonny przyjąć jego „wskazanie" co do natury barw; a jednak nie zdaje się, żeby Hooke kiedykolwiek zastosował to ulepszenie do swego tłumaczenia tych zjawisk...

## Doświadzenia i obliczenia, dotyczące optyki fizycznej. Przez Tomasza Young'a, M. D. F. R. S.[2]).

Odczytany 24 listopada 1803 r.

### 1. Dowód eksperymentalny ogólnego prawa interferencji światła.

Wykonywując pewne doświadczenia, dotyczące prążków barwnych towarzyszących cieniom, znalazłem tak prosty i przekonywujący dowód ogólnego prawa interferencji dwu części światła, które to prawo już poprzednio starałem się ustalić, że uważałem za stosowne dać w Towarzystwie Królewskiem krótkie sprawozdanie z faktów, które mi się wydają tak decydującemi. Twierdzenie, na które obecnie chcę położyć nacisk, na tem poprostu polega, iż prążki barwne są wytwarzane przez interferencję dwu części światła, a sądzę, że nawet najbardziej uprzedzeni nie zaprzeczą, że to oświadczenie jest potwierdzone przez eksperymenty, które właśnie przytoczę; mogą one być powtórzone z wielką łatwością, ilekroć świeci słońce, i to bez użycia jakichkolwiek innych przyrządów, niż te, które każdy ma pod ręką.

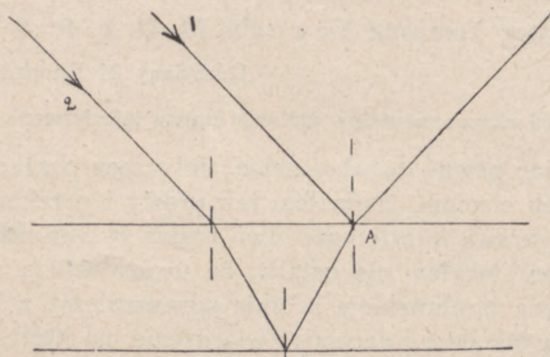
Doświadczenie 1. Zrobiłem mały otwór w okiennicy i zakryłem go kawałkiem grubego papieru, który przedziurawiłem cienką igłą. Dla większej dogodności w obserwowaniu umieściłem małe lusterko za okiennicą w takiem położeniu, aby odbijało światło słoneczne na ścianę przeciwległą w kierunku poziomym i aby stożek światła rozbieżnego przebiegał ponad stołem, na którym znajdowały się rozmaite małe ekraniki, powycinane z kart. W promieniu słonecznym umieściłem skrawek karty szerokości około $^1/_{30}$ cala i obserwo-

---

[1]) Być może, iż rysunek (str. 294) dopomoże do zorjentowania się w tekście Hooke'a. Promień, oznaczony na rys. 74 cyfrą 2, jest to właśnie promień osłabiony dwukrotnem załamaniem i jednem odbiciem. W *A* spotyka on falę („pulsację"), która biegła wzdłuż promienia oznaczonego cyfrą 1, i wyprzedzała go.

[2]) The Bakerian lecture. Experiments and calculations relative to the physical optics. By Thomas Young, M. D. F. R. S. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1804, cz. I, str. 1.

wałem jego cień bądź na ścianie, bądź na innych kartach, trzymanych w różnych odległościach. Obok prążków barwnych po każdej stronie cienia, sam cień był podzielony przez podobne prążki równoległe mniejszych rozmiarów, liczba ich była różna, stosownie do odległości, na której obserwowano cień; jednak środek cienia zawsze pozostawał białym. I te właśnie prążki stanowiły łączny wynik działania dwu części światła, przechodzących po każdej stronie skrawka




Rys. 74.

karty; dostawały się one wgłąb cienia dzięki zagięciu lub raczej dzięki dyfrakcji światła. Albowiem, kiedy umieszczono w kilku calach od karty mały ekran tak, aby się na jego brzegu zarysowywała granica cienia, to wszystkie prążki, które się przedtem obserwowało wewnątrz cienia na ścianie, znikały niezwłocznie, chociaż światłu zagiętemu na drugiej stronie dozwalano biec w dawnym kierunku i chociaż to światło musiałoby podlegać wszelkim modyfikacjom, któreby mogła wywołać bliskość drugiego brzegu skrawka karty. Kiedy ekran, ustawiony na drodze, był bardziej oddalony od wąskiej karty, to, aby usunąć linje równoległe, koniecznem było wstawić go dalej wgłąb cienia, albowiem światło, ugięte na brzegu przedmiotu, w drodze swej ku prążkom zaszło tu już było dalej wewnątrz cienia. I to, że jedna z dwu części, wzięta oddzielnie, nie była w stanie wytworzyć prążków, nie pochodziło z braku dostatecznego natężenia światła; albowiem, kiedy obydwie części przechodziły bez przeszkody, to linje pojawiały się nawet wówczas, kiedy natężenie było zredukowane do jednej dziesiątej lub jednej dwudziestej wartości pierwotnej.

. . . . . . . . . . . . . . . .

Spostrzeżenia nad skutkami dyfrakcji i interferencji, być może, będą miały z czasem zastosowanie do celów praktycznych, ostrzegając nas w naszych wnioskach, dotyczących wyglądu małych ciał, widzianych przez mikroskop. Cień włókna, umieszczonego w pęku promieni światła, przepuszczonych przez mały otwór, niezależnie od przezroczystości lub nieprzezroczystości włókna, zawsze jest cokolwiek mniej ciemny po środku swej szerokości, niż w częściach, które się znajdują na jednym i drugim brzegu. Podobne zjawisko może również do pewnego stopnia mieć miejsce w stosunku do obrazu na siatkówce i wzbudzić w nas wrażenie przezroczystości, która nie ma realnej egzystencji; kiedy zaś mała część światła rzeczywiście jest przepuszczona przez substancję, to może ona znowu być zniszczona wskutek swej interferencji ze światłem ugiętem, co wytworzy pozorną nieprzezroczystość częściową, zamiast jednostajnej wpółprzezroczystości. Tak centralna plama ciemna i plama jasna, otoczona ciemniejszym krążkiem, mogą być odpowiednio wytworzone w obrazach ciałka wpółprzezroczystego i nieprzezroczystego i mogą wzbudzić w nas ideę o komplikacji struktury, która nie istnieje[1]).

---

[1]) W nowszych czasach dopiero Abbe wykazał tak teoretycznie, jak i doświadczalnie, olbrzymią rolę, jaką grają zjawiska dyfrakcji przy rozpoznawaniu mikroskopowem drobnych przedmiotów.

## Rozdział VII.

### AUGUSTYN FRESNEL.

*(1788 — 1827).*

AUGUSTYN Jan Fresnel urodził się w roku 1788 w Broglie, w departamencie Eure. Był chłopcem słabowitym, co opóźniało postępy w naukach. Jednak już w 16-tym roku życia wstąpił do szkoły aplikacyjnej. Ukończywszy tę ostatnią po trzech latach studjów, został mianowany w roku 1812 kierownikiem prac przy budowie drogi bitej w jednym z departamentów południowych. W zupełnem odosobnieniu spędził tu Fresnel lat kilka. Działalność praktyczna nie pociągała go. „Ten rodzaj życia, choć trochę uciążliwy — pisze on kilka lat później do Arago — byłby dla mnie dość odpowiedni, gdybym się męczył tylko fizycznie i gdyby nie dręczył umysłu mego niepokój dozorowania i konieczność karcenia i okazywania swego gniewu". Innym razem pisze Fresnel „Znajduję, że niema nic równie trudnego, jak mieć ludzi pod swem kierownictwem, i przyznaję, że nie znam się na tem wcale". Godziny wolne wypełniał sobie Fresnel z początku rozmyślaniami o charakterze filozoficzno-religijnym; potem zwrócił się ku hydraulice i chemji technicznej, nawiązując zarazem stosunki listowne z niektórymi członkami Akademji, jak Darcet, Thenard, Gay-Lussac. Prawdopodobnie około 1814 zajęło Fresnel'a zagadnienie materjalności ciepła i światła. Jego przygotowanie w zakresie fizyki było niedostateczne; wykładał ją w Szkole Politechnicznej niejaki Hassenfratz, były członek komuny, uczony małej wartości. Obszernych i gruntownych podręczników fizyki nie posiadała ówczesna francuska literatura naukowa. Odcięty w małem miasteczku od źródeł oryginalnych, był Fresnel narażony na odnajdywanie rzeczy już znanych. Podczas studniowego panowania Napoleona w r. 1815 okoliczności ułożyły się dla Fresnel'a o tyle pomyślnie, że mógł był wyjechać na kilka dni do Paryża. Tu widział się z Arago. Rady

i wskazówki tego ostatniego narazie mało się przydały Fresnel'owi; Arago zalecał studjowanie oryginalnych prac angielskich, które dla młodego badcza były niedostępne, chociażby ze względu na nieznajomość tego języka. Jednak wyrazy zachęty ze strony tak wybitnego człowieka niewątpliwie stanowiły nowy bodziec dla przyszłego uczonego.

Z Paryża udaje się Fresnel na czas krótki do matki, która mieszkała na wsi w Mathieu pod Caen. W tym zakątku w ciągu kilku tygodni powstają dwie pierwsze rozprawy o dyfrakcji, przesłane Akademji Paryskiej. Już te pierwsze prace uderzają ścisłością rozumowania i głębokością myśli; z niepospolitym talentem eksperymentatorskim łączy Fresnel dar dostrzegania najdrobniejszych szczegółów zjawisk. Zajmuje Fresnel'a kwestja cieniów. Rzecz nie była nowa; już Grimaldi w wieku XVI poczynił w tej dziedzinie pierwsze odkrycia; dostrzegł on, że światło, przechodząc koło ekranów, nie biegnie po linji prostej, podług wymagań optyki geometrycznej, lecz ugina się, wskutek czego na brzegach cieniów powstają prążki ciemne i jasne. Najbardziej uderzające były spostrzeżenia Grimaldi'ego co do prążków jasnych, które tworzą się wewnątrz cienia wąskich ekranów, jak włos, igła i t. p. Uginaniu się światła poświęcił był i Newton księgę III swej „Optyki". Rozpatrzył on tylko prążki dyfrakcyjne zewnętrzne, chociaż doświadczenia Grimaldi'ego były mu znane. A jednak Newton rozumiał dobrze doniosłą rolę, jaką miałoby dla teorji falowej zachodzenie światła wgłąb cienia geometrycznego (ob. ostatnie stronice „Optyki"). Brak w dziele Newton'a jakichkolwiek danych o prążkach jasnych w obrębie cieniów należy, zapewne, przypisać temu, że trzecia i zarazem ostatnia księga „Optyki" dla braku czasu nie została przezeń wykończona całkowicie.

W każdym razie Fresnel pierwszy zajął się systematycznem i ścisłem badaniem prążków dyfrakcji tak wewnętrznych, jak i zewnętrznych, i dowiódł, że jedynie teorja falowa światła prowadzi do zrozumienia tych zjawisk. Temu zagadnieniu poświęcił Fresnel początkowy okres swej działalności naukowej.

W dwu pierwszych rozprawach, napisanych na wsi, wykrywa Fresnel zasadę interferencji, nie wiedząc bynajmniej o tem, że ta wcześniej już została wypowiedziana przez Young'a. Stosując tę zasadę do wielu zjawisk, np. do wyjaśnienia barw cienkich warstewek, dochodzi Fresnel do tych samych, co i Young, wyników. Nową natomiast była metoda obserwacji. Zamiast obserwować prążki

na papierze, badał Fresnel ich rozmieszczenie zapomocą lupy, co powiększało wielokrotnie dokładność pomiarów. Jego talent eksperymentatorski ukazuje się w całej pełni, gdy, nie mając żadnych narzędzi specjalnych, oprócz nitki i kawałka kartonu, mierzy odstępy pomiędzy prążkami z dokładnością do setnych części milimetra; podstawki do swych oryginalnych przyrządów sporządza Fresnel przy pomocy ślusarza wiejskiego.

Do oceny rozpraw Fresnel'a, złożonych Akademji, zostali powołani Poinsot i Arago. Ten ostatni nawiązuje korespondencję z młodym badaczem, wskazuje mu, że oryginalność jego rozpraw redukuje się do nowej metody obserwacji i do wykrycia krzywolinjowego biegu promieni, tworzących prążki jasne; zachęca go zarazem do nowych doświadczeń. Dzięki staraniom Arago udzielono Fresnel'owi urlopu kilkumiesięcznego dla powtórzenia doświadczeń w Paryżu. Jednak jeszcze w tym samym roku zajmuje Fresnel uciążliwe stanowisko naczelnika warsztatów w Rennes. Dopiero od roku 1818 zarząd dróg i mostów przenosi uczonego inżyniera na stanowisko, które mu pozwala stale przebywać w Paryżu. W tym samym czasie ogłasza Akademja Paryska konkurs na rozprawę o uginaniu się światła. Fresnel staje do konkursu za namową Ampère'a i Arago. Jemu przyznano nagrodę. Rozprawa konkursowa Fresnel'a składa się z dwu części. W części pierwszej ujmuje autor w jedną całość swe dotychczasowe badania nad uginaniem się światła; w części drugiej daje nową teorję zjawiska,opartą na zespoleniu zasady Huygens'a z zasadą interferencji. Rozwijając swą hipotezę, okazał autor, że był również przenikliwym matematykiem, jak doskonałym eksperymentatorem. Uwieńczenie dzieła stanowiły szeregi pomiarów, klasycznych pod względem ścisłości, wykazujących zdumiewającą zgodność pomiędzy danemi obliczenia i danemi obserwacji.

Sędziami konkursowymi byli: Laplace, Biot, Poisson, Arago i Gay-Lussac; trzej pierwsi — zapaleni zwolennicy systematu Newton'owskiego, czwarty — stronnik teorji falowej; piąty, Gay-Lussac, nie żywił uprzedzeń w żadnym kierunku, gdyż ze względu na charakter swej działalności naukowej mało był obznajmiony z kwestją poruszaną. Fresnel'owi przyznano nagrodę jednogłośnie; jego talent przezwyciężył wszelkie uprzedzenia. Być może, iż wpłynęła na to i pewna okoliczność wyjątkowa, nadająca temu konkursowi charakter niezwykle dramatyczny. Poisson zauważył, iż z całek Fresnel'a wynika wniosek paradoksalny:

przy przejściu światła przez mały otworek powinno się obserwować w pewnej odległości od ekranu ciemność, a za małym ekranem, w obrębie cienia geometrycznego, powinna panować zupełna jasność. Zaproponowano Fresnel'owi sprawdzenie tych wniosków, i eksperyment potwierdził w zupełności przewidywania teoretyczne (ob. niżej tekst oryginalny Fresnela).

Rozprawa konkursowa zamyka pierwszy okres działalności Fresnel'a. W okresie drugim przechodzi on do badań nad światłem spolaryzowanem. Szczupłe wiadomości o polaryzacji, jakie posiadali Huygens i Newton (ob. str. 285 tej książki), zostały rozszerzone na początku wieku XIX przez Malus'a. Arago przypadkowo dokonał obserwacji nad zjawiskami, które się spostrzega przy przechodzeniu światła spolaryzowanego przez płytki krystaliczne. Zająwszy się temi badaniami systematycznie, wykrył on niesłychane bogactwo faktów doświadczalnych. Odkrycia Arago zapewniły na czas krótki tryumf teorji emisyjnej; zwolennicy hipotezy falowej nie umieli pogodzić ze swemi zasadami tych nowych faktów. „Co się tyczy mych hipotez zasadniczych o naturze światła", pisze Young w jednym z listów, datowanych roku 1815, „to z dniem każdym mniej jestem skłonny zaprzątać niemi myśl moją w miarę, jak dochodzi do mej wiadomości większa liczba faktów w rodzaju tych, które odkrył p. Malus; albowiem, choć te hipotezy nie są tego rodzaju, żeby się nie dały pogodzić z faktami, to jednak z pewnością nie pomagają nam wcale do wytłumaczenia tych faktów".

Tymczasem Biot [1]) dawał dokładne wytłumaczenie zjawisk, zakładając, że ciałka świetlne mają bieguny na podobieństwo magnesów [2]). Prawda, że w miarę wykrywania nowych zjawisk należało przypisać cząsteczkom świetlnym mnóstwo innych własności od siebie niezależnych, a częściowo nawet — ze sobą sprzecznych. Tak więc cząsteczki świetlne miały być wielościanami, miały wirować koło osi symetrji względem linji biegunów prostopadłej, te osi symetrji przy

---

[1]) Jan Baptysta Biot (1774 — 1862) był jednym z najenergiczniejszych rzeczników teorji emisyjnej. Pozostawił wiele prac naukowych z dziedziny fizyki, astronomji i matematyki. Do najważniejszych należą jego badania nad załamaniem światła w gazach (dokonane wspólnie z Arago), nad skręcaniem płaszczyzny polaryzacji i nad barwami płytek krystalicznych w świetle spolaryzowanem. Wspólnie z Savart'em odkrył znane prawo, dotyczące pola magnetycznego prądu. Był autorem słynnego w swoim czasie podręcznika fizyki: „Traité de physique expérimentale et mathématique".

[2]) Nazwa światła spolaryzowanego powstała właśnie na gruncie hipotezy emisyjnej; polus — po łacinie biegun.

załamaniu podwójnem miały znowu wpadać w ruch drgający i t. d. Wszystkie te hipotezy skomplikowane nie wiązały się zupełnie z całokształtem zjawisk, obserwowanych w innych działach optyki. Ten stan rzeczy nie zadawalał Fresnel'a, dążącego do znalezienia zasad prostych i powszechnych. Przystępując do badań nad światłem spolaryzowanem, szuka Fresnel przedewszystkiem łącznika pomiędzy nową dziedziną, a dawniej już zbadanem zjawiskiem interferencji. Próbuje on znaleźć interferencję promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego, powstających przy podwójnem załamaniu. Arago, gorliwy protektor Fresnel'a a zarazem jego szczery przyjaciel i powiernik myśli, dowiedziawszy się o niepowodzeniu, doradza mu wykonanie doświadczenia bardziej przejrzystego: światło spolaryzowane ma być użyte w klasycznem doświadczeniu Young'a ze szparkami. Doświadczenie takie, wykonane wspólnie przez obu przyjaciół, dało niezmiernie ważny wynik dla dalszego rozwoju teorji światła. Okazało się, że prążki interferencyjne powstają sposobem zwykłym, o ile płaszczyzny polaryzacji obydwu promieni są względem siebie równoległe; przy ich skrzyżowaniu pod kątem prostym prążki interferencyjne znikają (ob. str. — tej książki). Wynik staje się zrozumiałym, jeżeli przypuścić, że drgania świetlne są prostopadłe względem promienia. Nie mógł się Fresnel zrazu na taki wniosek zdecydować, ze względu na trudność sprowadzenia tych pojęć do zasad mechaniki. Jednak już trzy lata później, w roku 1822, zajmując się badaniem barw płytek krystalicznych w świetle spolaryzowanem, wypowiada Fresnel zupełnie stanowczo zdanie swe o poprzecznym charakterze drgań świetlnych; widział się on poniekąd zmuszonym przez same fakty eksperymentalne do przyjęcia tego przypuszczenia. Rzecz interesująca, że Arago nie poszedł w tym kierunku za swym przyjacielem: do końca życia uważał hipotezę drgań poprzecznych za niedopuszczalną.

Na hipotezie drgań poprzecznych oparł Fresnel swe badania nad odbiciem światła spolaryzowanego od metali i od ciał przezroczystych, jak również — badania nad zjawiskami, które się obserwuje przy całkowitem odbiciu wewnętrznem. Ta strona jego działalności naukowej, jak również klasyczne badania nad załamaniem podwójnem w kryształach dwuosiowych, wychodzi poza ramy książki niniejszej. Z tych badań każde, wzięte zosobna, zapewnia autorowi w dziejach optyki imię wielkie, niezapomniane. Sprawy najzawilsze, chaos faktów umiał Fresnel sprowadzić do prostych praw ogólnych. Jego genjalna intuicja zwyciężała na każdem polu.

Zdumiewająca była pracowitość i wytrwałość Fresnel'a. Jego spuścizna naukowa obejmuje trzy wielkie tomy, po kilkaset stron każdy. A jednak Fresnel nigdy nie mógł całkowicie poświęcać czasu swego nauce. Kosztowne doświadczenia wymagały znacznych środków materjalnych. Zdobywał je Fresnel zawodową pracą inżynierską; od czasu do czasu zmuszony był jeszcze szukać zarobków ubocznych. Tak pomiędzy rokiem 1821 — 1824 zajmował uciążliwe, źle płatne stanowisko tymczasowego egzaminatora uczniów Szkoły Politechnicznej. W tym samym okresie czasu należał Fresnel też i do komisji, wyznaczonej dla udoskonalenia latarń morskich. Kilka pięknych wynalazków Fresnel'a wywołało przewrót zupełny w tej dziedzinie techniki i oddało wielkie usługi tak Francji, jak i ludzkości całej. Niewątpliwie jednak strata, którą poniosło społeczeństwo przez oderwanie genjalnej jednostki od badań w dziedzinie nauki czystej, większa była od tej korzyści. Wykrycie praw ogólnych, odsłonięcie nowych tajników natury donioślejszem byłoby z pewnością od udoskonalenia soczewek projekcyjnych lub wprowadzenia knotów nowego systemu.
Około roku 1824 siły Fresnel'a zaczęły się wyczerpywać. Przejęty całkowicie poczuciem obwiązku, nie wahał się w wyborze pomiędzy sławą osobistą a zobowiązaniami względem społeczeństwa. Wszystkie chwile wolne od cierpień poświęcał Fresnel sprawie latarń morskich. Zażądał zastępcy dopiero na kilka miesięcy przed śmiercią. Umarł w lipcu 1827 r. w trzydziestym dziewiątym roku życia.

## Rozprawa o dyfrakcji światła,

uwieńczona przez Akademję Nauk [1]).

Natura simplex et fecunda.

### WSTĘP

1. Zanim zajmę się specjalnie licznemi i różnorodnemi zjawiskami, objętemi nazwą wspólną dyfrakcji, powinienem, sądzę, przedstawić kilka rozważań ogólnych o dwu systematach, które dotąd w kwestji natury światła dzieliły uczonych na dwa obozy. Ne-

[1]) Tłumaczono podług tekstu w „Oeuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiés par MM. Henri de Senarmont, Emile Verdet et Léonor Fresnel". Paryż, 1886, t. I-szy, str. 247. Przy układaniu powyżej umieszczonej biografji korzystaliśmy z artykułu E. Verdet'a, stanowiącego wstęp do tego wydawnictwa.

w t o n uczynił przypuszczenie, że cząsteczki świetlne, wyrzucane przez ciała, które nas oświetlają, dochodzą wprost do oczu naszych, gdzie uderzeniem swem wywołują wrażenia wzrokowe. D e s c a r t e s, H o o k e, H u y g e n s, E u l e r myśleli, że światło wynika z drgań fluidu powszechnego, niezmiernie subtelnego, wprawianego w ruch przez szybkie drgania cząsteczek ciała świecącego, podobnie, jak powietrze jest wstrząsane przez drgania ciał dźwięcznych, tak,— że w systemacie tym dochodzą do naszego organu wzroku nie te cząsteczki fluidu, które są w zetknięciu z ciałem świecącem, lecz tylko ruch, który im był nadany.

Hipoteza pierwsza ma tę przewagę, że prowadzi do konsekwencji bardziej oczywistych, gdyż analiza mechaniczna daje się tu łatwiej zastosować; druga, przeciwnie, przedstawia pod tym względem wielkie trudności. Lecz w wyborze systematu należy mieć wzgląd tylko na prostotę hipotez; prostota rachunków nie może zaważyć na szali prawdopodobieństwa. Natura nie kłopotała się o trudności analityczne; unikała ona tylko komplikacji środków. Zdaje się, że postawiła ona sobie za cel uczynić wiele środkami małemi; jest to zasada, popierana wciąż nowemi dowodami w miarę doskonalenia się nauk fizycznych. Zwłaszcza astronomja, chluba umysłu ludzkiego, daje uderzające tego potwierdzenia: wszystkie prawa K e p l e r'a zostały sprowadzone przez genjusz N e w t o n'a do jednego prawa grawitacji, które posłużyło potem do wytłumaczenia, a nawet do wykrycia najbardziej skomplikowanych i najmniej widocznych perturbacyj w ruchach planet.

2. Jeżeli błądzono czasem, pragnąc uprościć elementy jakiejś nauki, pochodziło to stąd, że budowano systematy, zanim zebrano dostatecznie wielką liczbę faktów. Dana hipoteza, nader prosta, kiedy rozważamy jedną tylko klasę zjawisk, wymaga wielu innych hipotez, kiedy chcemy wyjść z ciasnego koła, w którem zamknęliśmy się z początku. Jeżeli natura postawiła sobie za cel osięgnąć m a x i m u m skutku zapomocą m i n i m u m przyczyn, to musiała ona rozwiązać to wielkie zagadnienie w całokształcie swych praw.

Niewątpliwie, jest rzeczą bardzo trudną odkryć podstawę tej zadziwiającej ekonomji, t. j. — najprostsze przyczyny zjawisk, rozpatrywanych z tak rozległego punktu widzenia. Lecz, jeżeli ta zasada ogólna filozofji nauk fizycznych nie prowadzi bezpośrednio do poznania prawdy, nie mniej może ona kierować wysiłkami umysłu ludzkiego, oddalając go od systematów, które sprowadzają zjawiska do zbyt wielkiej liczby przyczyn różnych, skłaniając natomiast

do przyznania pierwszeństwa tym, które, opierając się na najmniejszej liczbie hipotez, są najbardziej płodne w następstwa.

3. Pod tym względem systemat, podług którego światło polega na drganiach fluidu powszechnego, ma dużą przewagę nad systemem emisyjnym. Pozwala on pojąć, jakim sposobem światło może podlegać tylu różnym modyfikacjom. Rozumiem przez to nie te modyfikacje, których ono doznaje momentalnie w ciałach, przez które przebiega; te modyfikacje można sprowadzić do natury tych środowisk; ja jednak chcę mówić o tych zmianach trwałych, które światło unosi ze sobą, a które nadają mu nowy charakter. Łatwo zrozumieć, że fluid, zbiorowisko nieskończonej liczby molekuł ruchliwych, podlegających wzajemnej zależności, zdolny jest do wielkiej liczby modyfikacyj różnych dzięki ruchom względnym, które są nadawane cząsteczkom. Drgania powietrzne i rozmaitość wrażeń, które one wywołują w organie słuchu, stanowią uderzający tego przykład.

W systemacie emisyjnym — przeciwnie; ponieważ tam bieg każdej cząsteczki świetlnej jest niezależny od biegu innych cząsteczek, więc i liczba modyfikacyj różnych, którym te cząsteczki mogą podlegać, wydaje się nader ograniczona. Do ruchu postępowego można dodać ruch obrotowy, oto i wszystko. Co się tyczy ruchów drgających, ich istnienie jest wyobrażalne tylko w środowiskach, któreby je podtrzymywały niejednakowem działaniem swych części na różne strony cząsteczek świecących; strony te musiałyby przypuszczalnie posiadać własności różne. Jak tylko ustaje to działanie, drgania też muszą ustać lub zamieniać się na ruchy obrotowe. Tak więc ruch obrotowy i różnorodność ścian tej samej cząsteczki świecącej są jedynemi środkami mechanicznemi teorji emisyjnej w przedstawieniu wszelkich trwałych modyfikacji światła. Te środki wydadzą się nader niedostateczne, jeżeli zwrócić uwagę na mnogość zjawisk, których dostarcza optyka. Przekonamy się o tem lepiej, czytając „Podręcznik fizyki doświadczalnej i matematycznej" p. B i o t'a, w którym są rozwinięte nader szczegółowo i jasno główne konsekwencje systematu N e w t o n'a. Zobaczymy tam, iż, aby zdać sprawę ze zjawisk, należy nagromadzić na każdej cząsteczce świecącej wielką liczbę modyfikacyj różnych, które często trudno ze sobą pogodzić.

4. Podług systematu falowego nieskończona rozmaitość promieni różnych barw, z których składa się światło białe, pochodzi poprostu z różnicy w długości fal świetlnych, podobnież, jak rozmaitość tonów muzycznych pochodzi z różnicy w długości fal głosowych. W teorji N e w t o n'owskiej nie można przypisywać tej rozmaitości barw lub wra-

żeń wywołanych w organie wzroku różnicom w masie lub prędkości początkowej cząsteczek świetlnych, gdyż wynikałoby stąd, że rozszczepienie powinno być zawsze proporcjonalne do załamania, doświadczenie zaś dowodzi rzeczy przeciwnej. Należy tedy k o n i e c z n i e przypuścić, że cząsteczki promieni o barwie różnej nie są tej samej natury. I oto mamy tyleż częsteczek świetlnych różnorodnych, ile jest w widmie słonecznem barw, odcieni różnych.

5. Wytłumaczywszy odbicie i załamanie działaniem sił odpychających i przyciągających, mających siedlisko swe na powierzchni ciała, N e w t o n, aby pojąć zjawisko pierścieni barwnych, stworzył wyobrażenie o przystępach łatwego odbijania i łatwego przepuszczania, powracających perjodycznie w odstępach równych. Naturalnem było przypuszczenie, że te odstępy, jak i prędkość światła, są zawsze te same w tych samych środowiskach; a zatem, — że pod kątam padania bardziej ukośnemi, średnica pierścieni musi zmniejszać się, gdyż droga przebywana powiększa się. Doświadczenie uczy przeciwnie, iż średnica pierścieni powiększa się wraz z nachyleniem promieni padających, i N e w t o n zmuszony był wywnioskować stąd, że przystępy powiększają przy tem długość swą i to w stosunku większym od dróg przebieganych. Powinien był on również oczekiwać, że znajdzie przystępy dłuższemi w środowiskach, które światło przebiega z większą prędkością, i które podług niego są ciałami najgęstszemi, gdyż naturalnem było przypuścić, że okresy przystępów pozostają izochroniczne w różnych środowiskach. Doświadczenie dowiodło mu rzeczy przeciwnej: znalazł on, naprzykład, że grubości warstewek powietrza i wody, które odbijają tę samą barwę w promieniach prostopadłych, ściśle tak się mają do siebie, jak wstawy kątów padania i załamania przy przejściu światła z powietrza do wody, co właśnie jest jednem z najbardziej uderzających potwierdzeń teorji falowej.

Tak więc systemat emisyjny tak mało czyni zadość tłumaczeniu zjawisk, że każde nowe zjawisko wymaga nowej hipotezy.

6. Jeżeli hipoteza przystępów jest już nieprawdopodobna wskutek swej skomplikowanej konstrukcji, wydaje się ona jeszcze daleko bardziej nieprawdopodobną, kiedy idziemy śladem wniosków z niej płynących.

Tu wykazuje F r e s n e l trudności, które napotyka się w teorji przystępów, jeżeli, przyjąwszy ją, chcieć zdać sprawę z częściowego odbicia światła od powierzchni ciał przezroczystych, a nawet, — kiedy ją stosować do zupełnego wyjaśnienia zjawiska pierścieni barwnych, gwoli którego została właśnie stworzona. W zakończeniu wstępu krytycznego czytamy:

10. Mnogość hipotez i ich skomplikowany charakter nie są jedynym brakiem systematu emisyjnego. Pokażę w dalszym ciągu Rozprawy tej, że, nawet przyjmując wszystkie te hipotezy, które wyliczyłem, nie doszlibyśmy do kompletnego wytłumaczenia zjawisk, i że jedynie teorja falowa może zdać sprawę z tych wszystkich zjawisk, jakie okazuje uginanie się światła.

### Dyfrakcja światła.

### ROZDZIAŁ PIERWSZY.

Zdaje się, że w systemacie emisyjnym nie powinno być nic prostszego od teorji cieniów rzucanych przez ciała, zwłaszcza gdy przedmiot oświetlający sprowadza się do punktu świecącego, a jednak — niema nic bardziej skomplikowanego. Przypuszczając, że powierzchnia ciał posiada własność odpychania, zdolną do zmiany kierunku promieni świetlnych, które przechodzą bardzo blisko niej, należy oczekiwać, że się będzie tylko widziało, jak się cienie rozchodzą i jak się ku swym brzegom cokolwiek zlewają z częścią oświetloną. Tymczasem cienie są okolone trzema prążkami barwnemi, bardzo wyraźnemi, kiedy się posługiwać światłem białem, i jeszcze daleko większą liczbą prążków świetlnych ciemnych, gdy światło, którego się używa, jest niemal jednorodne. Nazwiemy te prążki zewnętrznemi i nadamy nazwę prążków wewnętrznych tym, które się spostrzega pośrodku cieniów wąskich.

Jeżeli przyjmiemy teorję Newton'owską, pierwszą ideą, która się nasunie, będzie to, że prążki zewnętrzne są wytworzone przez siłę kolejno przyciągającą i odpychającą, która bierze swój początek na powierzchni ciała. Pójdę z początku śladem wniosków z tej hipotezy i pokażę, że nie można jej pogodzić z doświadczeniem; uprzednio jednak muszę zapoznać ze sposobem obserwacji, którego używałem.

12. Wiadomo, że działanie lupy, umieszczonej przed okiem, polega na tem, że ona wiernie rysuje na siatkówce przedmiot lub obraz, który się znajduje w jej ognisku; przynajmniej — ilekroć wszystkie promienie, z których się składa obraz, padają na powierzchnię lupy. Można więc, zamiast otrzymywać prążki na białym kartonie lub na szkle matowem, obserwować je bezpośrednio zapomocą lupy; zobaczy się je takiemi, jakiemi są w jej ognisku. Wystarczy skierować ją ku punktowi świecącemu, umieszczając ją pomiędzy swem okiem a ciałem nieprzezroczystem tak, aby punkt spotkania promieni zała-

manych padał na środek źrenicy; poznaje się to po całkowitem oświetleniu powierzchni lupy. Ten sposób, który ma przewagę nad dwoma innemi pod tym względem, że pozwala dogodnie badać zjawiska dyfrakcji, nawet w świetle nader osłabionem, ma jeszcze przewagę i pod tym względem, że daje możność śledzenia prążków zewnętrznych prawie aż do miejsca ich powstawania. Kiedy mianowicie obserwowałem te prążki bardzo blisko ich początku, lecz tak, aby móc jeszcze odróżnić pasmo ciemne 5-go rzędu, to odstęp, który je dzielił od brzegu cienia, porównywany z podziałkami mikrometru, wydawał mi się mniejszy, niż półtora setnej części milimetra; i widziałem, że trzy pierwsze prążki były zawarte w przestrzeni, która nie przewyższała setnej części milimetra. Używałem przy tem soczewki o odległości ogniskowej dwumilimetrowej i — światła mniej więcej jednorodnego; używając soczewki bardziej wypukłej, zmniejszylibyśmy przestrzeń tę jeszcze bardziej. Tak więc można uważać, że, kiedy się posuwa dokładność tylko do setnych części milimetra, to pasma ciemne i błyszczące wychodzą jakby z samego brzegu ciała nieprzezroczystego; ta dokładność jest dostateczna; nie można jej nawet przewyższyć, gdy pasma, jak to bywa zazwyczaj, są dość szerokie.

Po ustaleniu dalszych jeszcze szczegółów zjawiska, znajduje Fresnel, że obserwacje nie dają się pogodzić z teorją emisyjną. Najbardziej uderzającym jest fakt, że ciemne i jasne prążki rozchodzą się od brzegów ekranu po hiperbolach, tymczasem molekuły świetlne, odchylane przez siły przyciągające lub odpychające, musiałyby w każdym razie biec po linjach prostych.

...Zapomocą zasady interferencji można, przeciwnie, nie tylko pojąć zmiany szerokości, których doznają prążki zewnętrzne, kiedy się zbliża lub oddala ekran od punktu świecącego, lecz również — bieg krzywolinjowy ich pasm ciemnych i błyszczących. Prawo interferencji lub wpływu wzajemnego promieni świetlnych jest konsekwencją bezpośrednią systematu falowego; zresztą jest ono dowiedzione tyloma doświadczeniami różnemi, iż jest obecnie jedną z najbardziej bezsprzecznych zasad optyki.

17. Grimaldi pierwszy poznał działanie, które wywierają na siebie promienie światła. W ostatnich czasach słynny doktór Tomasz Young dowiódł zapomocą doświadczenia prostego i pomysłowego, że prążki wewnętrzne wynikają ze spotkania promieni ugiętych z każdej strony ciała nieprzezroczystego; dowiódł on tego mianowicie, przejmując zapomocą ekranu jedną z wiązek światła [1]). Doprowa-

---

[1]) Ob. rozprawę Younga na str. 293 niniejszej książki.

dza to zawsze prążki wewnętrzne do zaniku zupełnego, niezależnie od tego, jaką będzie forma, masa i natura ekranu i — czy się zatrzymuje wiązkę świetlną przed lub też po jej pogrążeniu w cień.

18. Wytwarza się prążki żywsze o zarysach ostrzejszych, robiąc w kartonie lub w cienkiej blasze dwie szpary równoległe bardzo wąskie i dostatecznie zbliżone i umieszczając ten ekran tak przebity przed punktem świecącym; wówczas, jeżeli się obserwuje cień jego zapomocą lupy, umieszczonej pomiędzy ciałem nieprzezroczystem a okiem, widzi się dużą ilość prążków barwnych bardzo wyraźnych, kiedy światło dochodzi dwoma otworkami; te prążki znikają jednak, skoro tylko światło jednej ze szpar zostanie zatrzymane.

Ten sam wynik otrzymał Fresnel, krzyżując wiązki świetlne, odbite od dwu zwierciadeł[1]). O tem doświadczeniu pisze on między innemi:

Zauważę mimochodem, że tylko teorja interferencji mogła nasunąć myśl tego doświadczenia, i że doświadczenie takie wymagało środków ostrożności nadto subtelnych i zbyt długich prób poomacku czynionych, aby przypadek mógł na nie naprowadzić.

Przy dokładnych pomiarach okazało się jednak, że i teorja interferencyjna bezpośrednio stosowana, nie jest w stanie ująć ściśle zjawisk dyfrakcji. Mianowicie prążki dyfrakcji zewnętrzne nie dają się wytłumaczyć interferencją promieni idących bezpośrednio z promieniami ugiętemi na brzegu ciała, jak to przypuszczał Young. Odchylenia pozycyj obserwowanych od pozycyj obliczonych na podstawie tego założenia są małe, ale, bądźcobądź, dają się ściśle zmierzyć. Wówczas Fresnel wraca jeszcze raz na chwilę do hipotezy emisyjnej, lecz odrzuca ją ostatecznie, przekonawszy się, że natura ekranu nie ma najmniejszego wpływu na charakter prążków, co musiałoby mieć miejsce, gdyby powierzchnia ciał była siedliskiem sił, działających na światło. Tem kończy autor rozdział pierwszy rozprawy.

ROZDZIAŁ DRUGI.

Dowiódłszy w części pierwszej Rozprawy niniejszej, że systemat emisyjny, a nawet zasada interferencji, jeżeli się je stosuje tylko do promieni idących wprost i do promieni odbitych lub ugiętych na samym brzegu ekranu, nie wystarczają do wytłumaczenia zjawisk dyfrakcji, pokażę teraz, że można dać wytłu-

[1]) W tem słynnem doświadczeniu ustawiał Fresnel obok siebie dwa zwierciadła pod kątem niemal = 180°; umieszczone z boku źródło światła dawało obraz w każdem ze zwierciadeł. Promienie, wychodzące z każdego z tych punktów, spotykały się ze sobą i interferowały. (Ob. np. Natanson i Zakrzewski. Nauka fizyki, t. III, str. 306).

maczenie zadawalające i teorję ogólną zjwisk w systemacie falowym, nie uciekając się do żadnej innej hipotezy pomocniczej, a opierając się tylko na zasadzie H u y g e n s'a i zasadzie interferencji, które, jedna i druga, są konsekwencjami hipotezy zasadniczej.

W swej nowej teorji uwzględnia F r e s n e l wzajemne oddziaływanie wszystkich promieni, wychodzących z różnych części powierzchni falowej. Przykład podany poniżej w artykule 48 charakteryzuje metodę rozumowania, które w tym przypadku odznacza się raczej poglądowym charakterem, niż ścisłością. Wyższy stopień ścisłości osiąga Fresnel, wprowadzając metodę stref powierzchni falowej. Odsyłamy w tym względzie czytelnika do „Optyki" Drudego (str. 154 i następne w wydaniu z roku 1906) lub do podręcznika profesorów Natansona i Zakrzewskiego („Nauka Fizyki, t. III, str. 308 i nast.), gdzie to zagadnienie jest przedstawione w sposób popularny. Metoda Fresnela daje b. dobrą zgodność z obserwacjami, nie wytrzymuje jednak ścisłej krytyki naukowej (Drude, l .c.). Jednak poprawki późniejszych teoretyków nie zmniejszają wartości genjalnego dzieła Fresnel'a, które, jeżeli się tak można wyrazić, uległo tylko retuszowi.

48. Rozpatrzywszy przypadek, gdy prążki są wytwarzane przez ciało wąskie, przechodzę do przypadku, gdy je wytwarza mały otwór.

Niech $EG$ (rys. 75) oznacza otwór [1]), przez który przepuszcza się światło. Przypuszczam z początku, że jest on dość wąski, aby prążki ciemne pierwszego rzędu znajdowały się zewnątrz cienia geometrycznego ekranu i były dostatecznie oddalone od brzegów $B$ i $D$. Niech $P$ będzie punktem najciemniejszym jednego z tych pasm; łatwo widzieć, że musi on odpowiadać różnicy jednej długości fali pomiędzy dwoma promieniami skrajnemi $EP$ i $PG$. Rzeczywiście, jeżeli sobie wyobrazimy drugi promień $PI$, poprowadzony w ten sposób, że jego długość jest średnią pomiędzy długością tamtych dwu, to, wskutek ich wyraźnie ukośnego kierunku względem łuku $EIG$, punkt $I$ będzie niemal środkiem tego łuku. A zatem łuk ten będzie się składał z dwu innych, których elementy odpowiednie będą prawie równe i będą musiały niszczyć się wzajemnie.



Rys. 75.

[1]) Punkt $G$ na rys. 75 powinien być przesunięty wlewo.

Łatwo widzieć zapomocą podobnych rozumowań, że punkty najciemniejsze innych prążków ciemnych odpowiadają różnicom dróg równym parzystej liczbie połówek fal pomiędzy promieniami, wychodzącemi z dwu brzegów diafragmy, a punkty najsilniej oświetlone prążków błyszczących — różnicom, wynoszącym nieparzystą liczbę połówek fal. Inaczej mówiąc, prążki powinny zajmować pozycję wręcz przeciwną do tego położenia, którebyśmy wyprowadzili ze zgodności lub niezgodności promieni skrajnych, wychodząc z hipotezy, że tylko one biorą udział w wytwarzaniu prążków; jednak — z wyjątkiem prążka środkowego, który w jednym i w drugim systemacie powinien być jasny. Doświadczenie potwierdza wnioski, wynikające z systematu, w którym rozpatruje się prążki, jako skutek spotkania drgań wszystkich punktów łuku *EG*, przeczy zatem systematowi, według którego uważałoby się je za wytwór wyłącznie promieni ugiętych i odbitych od samych brzegów diafragmy. To są właśnie pierwsze zjawiska, które pozwoliły mi poznać niedokładność tej hipotezy i doprowadziły mnie do teorji, której zasadę podstawową wyłożyłem właśnie; jest to zasada H u y g e n s'a, zespolona z zasadą interferencji.

Na sześćdziesięciu końcowych stronicach rozprawy rozwija F r e s n e l swą teorję. Dzieląc powierzchnie falową na elementy i rozpatrując wynik wzajemnego oddziaływania fal, wychodzących z każdego elementu, staje on przed dość trudnem zagadnieniem matematycznem. Trudności udaje mu się przezwyciężyć; ostatecznie sprowadza F r e s n e l wszystko do obliczenia pewnych całek, które dziś nazywamy jego imieniem. F r e s n e l bierze też na siebie żmudne obliczenie tych całek. W rezultacie opracowuje szczegółowo trzy przypadki uginania się światła: 1) prążki, wytworzone przez brzeg prostolinjowy nieograniczonego ekranu; 2) prążki, które daje układ dwu takich ekranów (szpara wąska); 3) zjawiska wewnątrz i zewnątrz cienia geometrycznego ekranu wąskiego (np. drutu).

Ręka w rękę z teorją idzie eksperyment. F r e s n e l sprawdza swe wywody setkami spostrzeżeń, otrzymując wszędzie zadziwiającą zgodność z danemi obliczenia. Dla przykładu podajemy tu część niewielką jednej z wielu tablic spostrzeżeń (p. tablica porównawcza na str. 310).

Ta nieporównana zgodność wyników doświadczenia z teorją była zapewne powodem, iż S c h w e r d, jeden z wybitnych niemieckich badaczy w dziedzinie uginania się światła, powiedział kiedyś, że teorja falowa przepowiada zjawiska dyfrakcji z taką samą ścisłością, z jaką teorja grawitacji przepowiada ruchy ciał niebieskich. Ciekawe potwierdzenie tej myśli znajdziemy w poniższej pracy F r e s n e l'a.

TABLICA PORÓWNAWCZA

wyników obserwacji i wyników teorji co do prążków zewnętrznych cieniów w świetle czerwonem jednorodnem, którego długość fali jest równa 0,000638 mm.

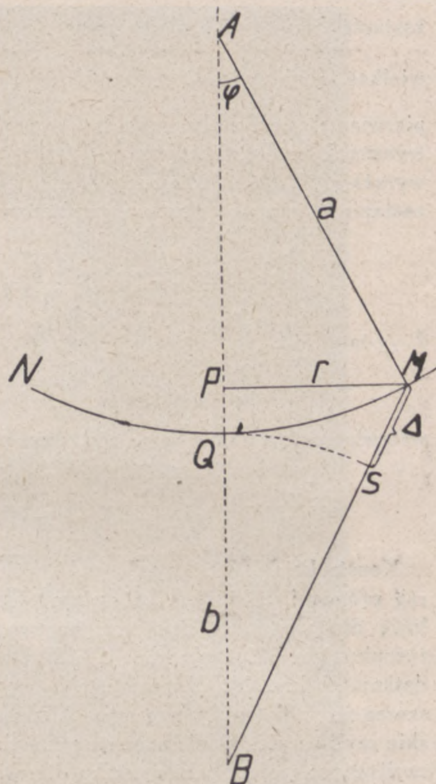
| Numery spostrzeżeń | Odległości punktu świecącego od ciała nieprzezroczystego lub wartości a | Odległości ciała nieprzezroczystego od mikrometru lub wartości b | Rzędy prążków ciemnych | Odległość punktu najciemniejszego każdego prążka od brzegu cienia geometrycznego | | RÓŻNICE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Spostrzeżenie | Rachunek | |
| | | | | mm. | mm. | |
| 1 | 0,1000 m. | 0,7985 m. | 1 | 2,84 | 2,83 | —1 |
| | | | 2 | 4,14 | 4,14 | 0 |
| | | | 3 | 5,14 | 5,13 | —1 |
| | | | 4 | 5,96 | 5,96 | 0 |
| | | | 5 | 6,68 | 6,68 | 0 |
| 2 | 0,1985 | 0,637 | 1 | 1,73 | 1,73 | 0 |
| | | | 2 | 2,54 | 2,53 | —1 |
| | | | 3 | 3,14 | 3,14 | 0 |
| | | | 4 | 3,65 | 3,64 | —1 |
| | | | 5 | 4,06 | 4,08 | +2 |

**Obliczenie natężenia światła w środku cienia okrągłego ekranu i okrągłego otworu oświetlonych przez punkt promieniujący [1]).**

Po wydaniu przez Akademję sądu o Rozprawach konkursowych na temat dyfrakcji, gdy P. P o i s s o n zwrócił mi uwagę na to, że całki określone, które wyrażają natężenie światła, łatwo mogą być obliczone dla środka cienia ekranu lub otworu okrągłego, wykonałem obliczenie dla tego ostatniego przypadku i znalazłem w niem wytłumaczenie tak żywych barw, jakie często spostrzegałem w środku wiązki promieni po jej przejściu przez mały otwór ściśle okrągły. P. P o i s s o n zakomunikował mi już był osobliwe twierdzenie, do którego doszedł w pierwszym przypadku, a mianowicie: że środek cienia ekranu okrągłego powinien być równie oświetlony, jak gdyby ekran nie istniał wcale, przynajmniej, — gdy promienie przenikają tam, mając kierunek niezbyt ukośny. Zamierzam dać tu najprostsze rozwiązanie tych dwu zagadnień, nie używając całek określonych, które służyły mi w Rozprawie poprzedniej do obliczania innych zjawisk dyfrakcji.

[1]) Calcul de l'intensité de la lumière au centre de l'ombre d'un écran et d'une ouverture circulaires, éclairés par un point radieux. Oeuvres compl. t. I, str. 365.

Aby ułatwić czytelnikowi zrozumienie dalszego tekstu, dajemy szczegółowe wyprowadzenie wzorów, dotyczących teorji stref, któremi posługuje się autor w swych rozważaniach. Uzasadniamy wszędzie pominiecie wielkości małych, gdyż ta strona zagadnienia nastręcza często poważne wątpliwości, — zwłaszcza czytelnikom mniej zaawansowanym w studjach matematycznych Niech $A$ na rys. 76 oznacza punkt świecący, a $B$ — punkt, w którym obliczamy natężenie świetlne; $AM = a$ jest promieniem fali kulistej, wychodzącej z $A$; $BQ = b$; $PM = r$, przyczem gdy $\angle\ \varphi$ jest mały, $PM$ nie różni się od $QM$. Wszystkie punkty fali $MQN$ wysyłają promienie ku punktowi $B$. Zajmiemy się przedewszystkiem znalezieniem zależności pomiędzy różnicą dróg $BM—BQ= \triangle$ a wielkością $r$.



Rys. 76.

Z $\triangle\ AMB$ wynika:

$$BM^2 = a^2 + (a+b)^2 - 2a(a+b)\cos\varphi =$$

$$= 2a^2 + 2ab + b^2 - 2a(a+b)\cos\varphi =$$

$$= 2a(a+b)(1-\cos\varphi) + b^2.$$

Stąd

$$BM^2 - b^2 = 2a\ (a+b)\ (1-\cos\varphi),$$

$$(BM+b)\ (BM-b) = 2a\ (a+b)\ (1-\cos\varphi),$$

$$BM - b = \frac{2a\ (a+b)}{BM+b}(1-\cos\varphi),$$

Odległości $a$ i $b$ równają się każda przynajmniej 1 metrowi. Będziemy rozpatrywali tylko ten przypadek, kiedy promienie boczne są nachylone pod bardzo małemi kątami tak, że różnica dróg nie przenosi w żadnym razie kilkudziesięciu fal świetlnych. (Promienie ukośne są b. słabe i mogą być pominięte). Wobec tego $BM = b + \triangle$, różni się od $b$ o wielkość, którą można pominąć w mianowniku ostatniego wzoru. Rzeczywiście, przypuśćmy, że mamy do czynienia z podczerwoną częścią widma, i że długość fali $=$ 0,001 mm. Wówczas, przy różnicy dróg wynoszącej 100 fal świetlnych, $\triangle =$ 0,1 mm.; wielkość ta, wobec $b =$ 1 m. naprzykład, może być odrzucona. Ostatni wzór napiszemy zatem:

$$BM - b = \triangle = \frac{2a\ (a+b)}{2b}(1-\cos\varphi)$$

Wyrażenie $1 - \cos\varphi = 2\ \sin^2\frac{\varphi}{2}$, co podstawiając we wzór poprzedni mamy:

$$\triangle = \frac{a\ (a+b)}{b} \cdot 2\ sin^2 \frac{\varphi}{2};\ sin^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{b\ \triangle}{2a\ (a+b)};\ sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{\triangle}{a+b}}$$

Z ostatniego wyrażenia widać, że kąt $\varphi$ jest tak mały, iż wstawę jego możemy zastąpić łukiem. W rzeczy samej, pod znakiem pierwiastka stosunek $\frac{b}{a}$ jest wielkością skończoną, stosunek $\frac{\triangle}{b+a} < \frac{0.1}{1000} < 10^{-4}$; wynika stąd, że pierwiastek jest bezwarunkowo mniejszy, niż $10^{-2}$. W tablicach trygonometrycznych czteroznacznych znajdziemy, że dla kąta $= 1^0$ styczna i wstawa wyrażają się jedną i tą samą liczbą 0,0175. Na tej podstawie i w danym razie zastąpimy wstawę łukiem i napiszemy:

$$sin \frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{b\ \triangle}{2a\ (a+b)}};\ \varphi = \sqrt{\frac{2\ b}{a\ (a+b)} \cdot \triangle}$$

Z $\triangle$-ta *APM*:

$$sin\varphi = \varphi = \frac{r}{a};$$

wstawiając tę wartość $\varphi$ w równanie poprzednio napisane, mamy:

$$\varphi = \frac{r}{a} = \sqrt{\frac{2\ b}{a\ (a+b)} \triangle};\ \triangle = \frac{r^2\ (a+b)}{2\ ab};\ r^2 = \frac{2\ ab}{a+b} \cdot \triangle.$$

Konstrukcja F r e s n e l'a polega na tem, że z punktu *B* prowadzi się szereg promieni, z których każdy następny różni się od poprzedniego o $^1/_2\lambda$ (połowę długości fali). Tak więc na rys. 77 $M_1 S_1$, $M_2 S_2$, $M_3 S_3 = {}^1/_2 \lambda$. (Na rysunku (str. 313) połączono $S_2$ i $S_3$ z punktami, których dotyczą, zapomocą dodatkowych kresek). Obracając tę figurę koło osi *AB*, otrzymujemy w przestrzeni szereg stref. Te strefy, w granicach naszego przybliżenia, możemy uważać za płaskie czyli za pierścienie zawarte pomiędzy sąsiedniemi kołami. Linję, którą oznaczyliśmy na poprzednim rysunku literą *r*, możemy uważać za promień odpowiedniego koła. Ponieważ wielkość $\triangle$ we wzorze

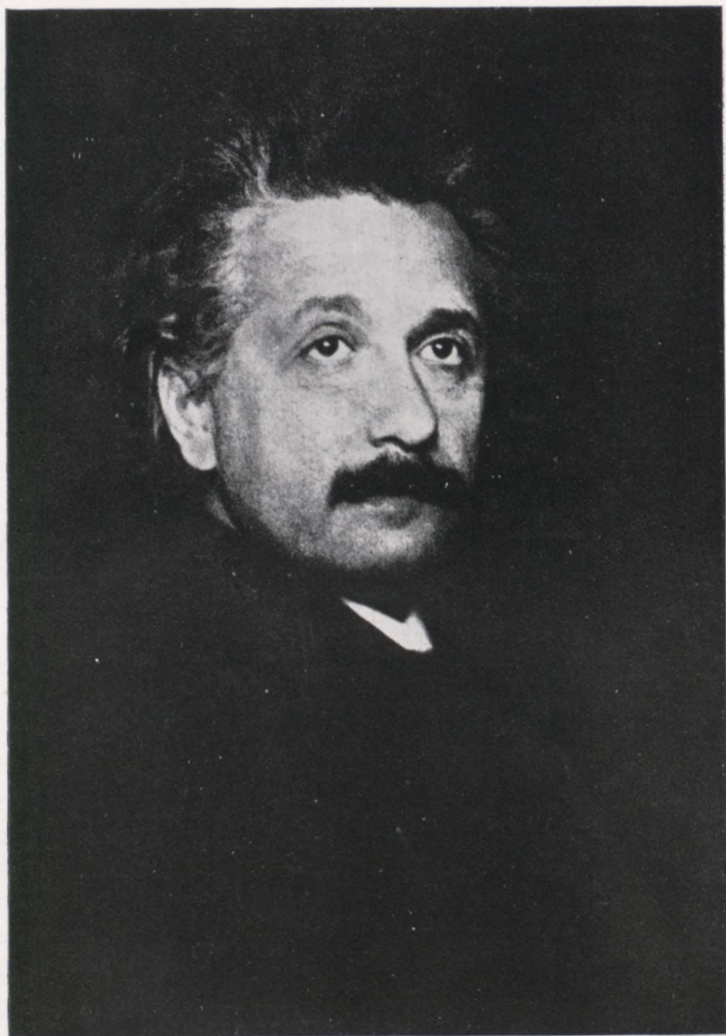
$$r^2 = \frac{2\ ab}{a+b} \triangle,$$

wyżej wyprowadzonym, przybiera szereg wartości:

$$1 \cdot \frac{\lambda}{2}; 2 \cdot \frac{\lambda}{2}; 3 \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \cdot \cdot n \frac{\lambda}{2},$$

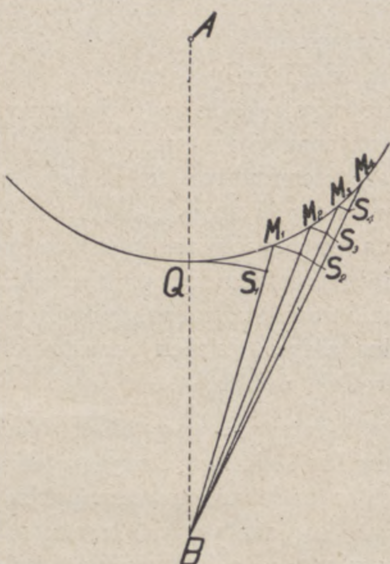
przeto kolejne promienie $r_1$, $r_2$, $r_3 \ldots r_n$ mają się do siebie, jak pierwiastki kolejnych liczb całkowitych. Biorąc powierzchnie kół $= \pi r_n{}^2$, czytelnik udowodni łatwo, że powierzchnie kolejnych stref są sobie równe (ob. str. 313 tekstu).

Zauważmy, że promienie stref są rozmiarów skończonych, i że same strefy mogą być wykreślone na papierze. Tak naprzykład, zakładając, że $a = b = 5000$ mm., i że $\triangle = \frac{\lambda}{2} = 0{,}0003$ mm. (św. pomarańczowe), znajdziemy, że promień pierwszej strefy $= 1{,}22$ mm.



ALBERT EINSTEIN

Podzielmy otwór szeregiem spółśrodkowych okręgów kół, nieskończenie bliskich siebie. Jeżeli przypuścimy, że ich promienie są proporcjonalne do pierwiastków kwadratowych z liczb naturalnych 1, 2, 3 i t. d., to powierzchnie kół będą podlegać postępowi 1, 2, 3, 4 i t. d., a powierzchnie pierścieni zawartych w małych odstępach, które oddzielają kolejne obwody kół, będą wszystkie sobie równe. Stosuje się to do części powierzchni fali padającej płaskiej lub kulistej, która spotyka otwór diafragmy. Podzieliliśmy więc falę padającą na nieskończoność małych pierścieni spółśrodkowych o równej powierzchni, z których każdy posyła przeto do środka rzutu tego otworu tę samą ilość promieni, mających niemal to samo natężenie, dopóki nachylenia nie są zbyt wielkie. Należy również zauważyć, że dla każdego pierścienia promienie, które on posyła do środka cienia, są wszystkie tej samej długości, przebiegają zatem drogi równe i są tam w doskonałej zgodności ze sobą. A więc systemy fal wypadkowych są proporcjonalne do powierzchni tych pierścieni i, co za tem idzie, — równego natężenia.



Rys. 77.

2. Ustaliwszy to, rozważmy przypadek szczególny, kiedy różnica dróg pomiędzy promieniem środkowym a promieniami, idącemi od brzegów ekranu, jest całkowitą wielokrotną połówki fali; przypuśćmy też z początku, że ta liczba jest parzysta: łatwo widzieć, że wówczas wszystkie fale elementarne, które dochodzą do środka cienia, zniszczą się wzajemnie. Rzeczywiście, podzielmy część powierzchni fali padającej, zawartą w otworze zasłony, zapomocą kół spółśrodkowych, rozmieszczonych w taki sposób, aby promienie, pochodzące z dwu kolejnych obwodów i zbiegające się po środku cienia, różniły się o pół długości fali; podzielimy ten otwór na tyleż pierścieni, włączając w to małe kółko środkowe, ile jest połówek fali różnicy pomiędzy promieniem środkowym i promieniami krańcowemi; a ponieważ liczba tych połówek fali jest parzysta, więc i liczba działek otworu również będzie parzysta. Otóż widocznem jest, że będą one miały tę samą

powierzchnię lub, innemi słowy, że każda z nich będzie zawierać tę samą liczbę pierścieni elementarnych, o których mówiliśmy poprzednio, i że w dwu działkach kolejnych pierścienie elementarne, sobie odpowiadające, będą posyłać promienie, które po środku cienia będą się znajdowały w zupełnej niezgodności. A zatem wszystkie promienie, wysłane do tego punktu przez dwie działki sąsiednie, zniosą się wzajemnie; ponieważ zaś one są w liczbie parzystej, więc wszystkie fale elementarne, które wychodzą z fali padającej, zostaną zupełnie zniesione, i środek rzutu otworu będzie pozbawiony światła. Otrzyma on przeciwnie możliwie największą ilość światła, kiedy różnica dróg pomiędzy promieniem środkowym i promieniami skrajnemi będzie zawierać nieparzystą liczbę połówek fali, ponieważ wówczas jedna z tych działek pozostanie wolna i całością swą będzie oświetlać środek cienia.

3. Jeżeli chcemy teraz wiedzieć, jaki jest stosunek natężenia pomiędzy światłem otrzymanem w tym ostatnim przypadku a światłem, które pada na ten sam punkt, kiedy się zupełnie usunie ekran, dosyć jest zastosować rozumowanie powyższe do przypadku, w którymby otwór był nieskończenie wielki. Lecz aby dojść do rezultatu ścisłego, nie należy już przypuszczać, że każda działka otworu lub pierścień główny niszczy skutek, wywołany przez pierścień następny, którego promienie różnią się o pół długości fali, albowiem, choć powierzchnia dwóch pierścieni i natężenie promieni, które one wysyłają, nieskończenie mało różnią się od siebie, to jednak te różnice, jakkolwiek małe, powtórzone nieskończoność razy, mogą wytworzyć wielkość znaczną. Daleko ściślejszem będzie powiedzenie, że drgania, wysyłane przez każdy pierścień, są niszczone przez połowę prędkości bezwzględnych, które przynoszą promienie pierścienia poprzedzającego i promienie pierścienia po nim następującego; albowiem, jeżeli różnice, o których właśnie była mowa, są nieskończenie małemi pierwszego rzędu, to stają się one nieskończenie małemi rzędu drugiego, kiedy się porównywa powierzchnie pierścienia lub natężenie jego promieni z połową sumy powierzchni lub natężenia promieni dwu pierścieni, pomiędzy któremi on jest zawarty. A więc niema już obawy, aby wynik obliczenia zawierał znaczny błąd wskutek sumowania się wielkości pominiętych, bez względu na ich liczbę [1]).

---

[1]) Wywód uderzającego wniosku, że przy użyciu ekranu oświetlenie jest w maximach 4 razy silniejsze, niż przy swobodnem rozchodzeniu się światła, bez stosowania przegród jakichkolwiek, można krótko ująć w sposób następujący. Maxima otrzymujemy wówczas, kiedy w otworze mieści się nieparzysta liczba stref.

4. Stosując ten bieg rachunku do otworu skończonego, doszlibyśmy do tych samych wyników, które znaleźliśmy właśnie zapomocą innej kombinacji fal elementarnych. Jest tak w rzeczy samej, ponieważ promienie każdego pierścienia są znoszone przez połowę prędkości bezwzględnych [1]) małego kółka środkowego i pierścienia skrajnego, które również zniosą się wzajemnie, jeżeli liczba działek jest parzysta, i będą się sumować, jeżeli jest nieparzysta, znów wytwarzając tę samą ilość światła, którejby dostarczył jeden pierścień lub małe kółko centralne. Ponieważ natężenie światła jest proporcjonalne do kwadratu prędkości bezwzględnych, więc, gdy otwór jest nieograniczony lub kiedy niema ekranu, punkt którym się zajmujemy, otrzymuje cztery razy mniej światła, niż przy użyciu ekranu, zaopatrzonego w otwór okrągły o średnicy takiej (w stosunku do położenia), że pomiędzy osią a promieniami skrajnemi jest różnica, wynosząca nieparzystą liczbę połówek fal. Jakąkolwiek będzie średnica diafragmy, można zawsze zadośćuczynić temu warunkowi, zmieniając odpowiednio odległość od kartonu, na którym otrzymuje się cień, a nawet, jeżeli to jest potrzebne, — odległość punktu świecącego.

Oznaczając przez $r$ promień otworu kolistego i przez $a$ i $b$ odległości ekranu od punktu świecącego i kartonu, wiemy, że różnica dróg pomiędzy osią i promieniami, idącymi od obwodu, równa jest

$$\frac{{}^1/_2\, r^2\,(a+b)}{a\,b}\ {}^{2)}.$$

Zapomocą tego wzoru można łatwo obliczyć odległości, w których należy umieścić karton lub ognisko lupy, służącej do obserwacji prążków, aby otrzymać m i n i m u m lub m a x i m u m światła po

---

Te ostatnie niszczą się wzajemnie parami, wobec czego jedna, centralna, pozostaje wolną od wpływów. O ile ekranu niema, wówczas, ze względu na wielką liczbę stref i związany z tem ukośny kierunek promieni, lepiej będzie uważać, że każda strefa znosi się dzięki działaniu dwu połówek stref przyległych. Ostatnie strefy, które wysyłają promienie niemal styczne do swej powierzchni, w rachubę nie wchodzą. Wobec tego pozostaje tylko $^1/_2$ strefy pierwszej. Naturalnem jest przypuszczenie, że amplituda światła w danem miejscu jest proporcjonalna do powierzchni falowej wzbudzającej drgania, przynajmniej o ile chodzi o małe powierzchnie. Ponieważ energja jest proporcjonalna do kwadratu amplitudy drgania, przeto, w przypadku ekranu, pozostające nieosłabionem działanie strefy środkowej da natężenie światła 4 razy silniejsze, niż połowa strefy, której działanie należy uwzględnić przy swobodnem rozchodzeniu się światła.

Przy interferencji mówimy obecnie o składaniu drgań; F r e s n e l sumuje prędkości, co daje ten sam wynik.

[1]) Obecnie powiedzielibyśmy nie „prędkości bezwzględnych", lecz „wychyleń".

[2]) Ob. wyprowadzenie tego wzoru na str. 312.

środku rzutu otworu. Wystarcza uczynić to wyrażenie równem parzystej lub nieparzystej liczbie połówek fali, co daje w pierwszym przypadku

$$\frac{r^2 (a+b)}{a\,b} = 2\,n\lambda$$

i w drugim

$$\frac{r^2 (a+b)}{a\,b} = (2\,n+1)\,\lambda.$$

Zapomocą tych dwu równań oblicza się dla wszystkich wartości 1, 2, 3... i t. d., które się nadaje wielkości $n$, odległość $b$, która odpowiada natężeniu maksymalnemu lub minimalnemu w świetle jednorodnem, którego długość fali $\lambda$ jest znana.

6. Sprawdziłem te wzory zapomocą obserwacji przy użyciu tegoż jednorodnego światła czerwonego, którego użyłem już w innych moich doświadczeniach z uginaniem się, i znalazłem, że istotnie, umieszczając ognisko lupy w odległościach obliczonych podług wzoru pierwszego, dostrzegało się jakby plamę atramentową po środku otworu kołowego, podczas gdy ten sam punkt osięgał, zdawało się, maximum jasności w odległościach, wyprowadzonych z wzoru drugiego.

Plama czarna miała ciemność zupełną tylko dla odległości, odpowiadających wartościom $n$, które nie przewyższały liczb 3 i 4. Powyżej tych liczb, t. j. bliżej ekranu, zaczynał dawać się wyczuć brak jednorodności światła użytego, i plama ciemna środkowa nie była już tak czarna.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

---

## Rozprawa o wzajemnem oddziaływaniu promieni światła spolaryzowanego, przez P.P. Arago i Fresnela[1]).

(Annales de chimie et de physique, t. X, str. 228. — Zeszyt marcowy 1819).

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

2. Podczas prób, których dokonywaliśmy wspólnie, jeden z nas (p. Arago) wpadł na myśl, że mogłoby być ciekawem zbadać, czy działania wzajemne, wywierane zwykle przez promienie światła zwy-

---

[1]) Mémoire sur l'action que les rayons de lumière polarisée exercent les uns sur les autres, par MM. Arago et Fresnel. Fresnel, Oeuvres compl., t. I, str. 509.

Doniosłość pracy niniejszej była ogromna: autorowie wykazali, że promienie

czajnego, nie doznałyby zmiany, gdyby doprowadzić do interferencji dwie wiązki świetlne dopiero po uprzedniem ich spolaryzowaniu.

Wiadomo, że jeżeli ciało oświetlić wiązką światła, która wychodzi z punktu promieniującego, cień jego jest obramowany po stronie zewnętrznej szeregiem prążków, wytworzonych przez interferencję światła, idącego po linji prostej, z promieniami ugiętemi w sąsiedztwie ciała nieprzezroczystego; i — że część tegoż światła, przenikając w głąb cienia geometrycznego z dwu przeciwnych brzegów ciała, daje początek prążkom tego samego rodzaju; otóż znaleźliśmy przedewszystkiem z łatwością, że te dwa układy prążków są najzupełniej do siebie podobne, niezależnie od tego, czy światło padające nie dozna żadnej modyfikacji, czy też dojdzie do ciała po uprzedniem spolaryzowaniu. A zatem promienie spolaryzowane w tym samym kierunku, mieszając się, oddziaływują na siebie podobnież, jak i promienie naturalne.

3. Pozostawało jeszcze spróbować, czy dwa promienie spolaryzowane pierwotnie w kierunkach przeciwnych, nie wytworzą zjawisk tegoż rodzaju, krzyżując się we wnętrzu cienia geometrycznego ciała nieprzezroczystego.

W tym celu każdy z autorów rozprawy szukał środków doświadczalnych na własną rękę. Fresnel wykonał kilka doświadczeń, posługując się ciałami dwójłomnemi; okazało się, że promień nadzwyczajny, oddziaływując na promień zwyczajny (obydwa są spolaryzowane w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych), nie daje prążków interferencyjnych.

6. Metoda, którą obmyślił ze swej strony do wykonania tegoż doświadczenia p. Arago, była niezależna od podwójnego załamania. Wiadomo oddawna, że jeżeli się zrobi w arkuszu cienkiej blachy dwie szpary bardzo wąskie i mało odległe jedna od drugiej i jeżeli się je oświetli światłem jednego tylko punktu świecącego, to za arkuszem powstają prążki nader żywe, wynikające z oddziaływania, które promienie szpary prawej wywierają na promienie szpary lewej w punktach, gdzie się one ze sobą mieszają. Aby spolaryzować w kierunkach przeciwnych promienie, pochodzące z tych dwu otworów, p. Arago zamierzał z początku użyć cienkiego agatu, przekrajanego po środku, umieszczając każdą połowę przed jedną ze szpar,—

---

o płaszczyznach polaryzacji wzajemnie prostopadłych nie interferują. Wynik ten daje mocną podstawę doświadczalną hipotezie, że światło polega na drganiach poprzecznych. W tem przypuszczeniu bowiem, intuicyjnie jasnem jest, że dwa drgania wzajemnie prostopadłe, wytwarzające ruch elliptyczny, znosić się nie mogą.

w każdym razie w ten sposób, żeby części agatów z początku przyległe znalazły się wówczas w kierunkach wzajemnie prostopadłych. To urządzenie powinno było oczywiście wywołać skutek oczekiwany; lecz, nie mając w danej chwili pod ręką odpowiedniego agatu, zaproponował P. A r a g o zastąpić go przez dwa stosy płytek; stosy miały być złożone z blaszek mikowych, a to w celu nadania im niezbędnego w tem doświadczeniu stopnia cienkości.

W tym celu wybraliśmy piętnaście tych blaszek, możliwie najczystszych, i ułożyliśmy je jedna na drugiej. Potem zapomocą narzędzia ostrego ten jeden stos został przedzielony po środku. Jasnem jest więc, że dwa stosy cząstkowe, które otrzymano z tego podziału, powinny były mieć p r a w i e z u p e ł n i e tę samą grubość, przynajmniej w częściach, które z początku do siebie przylegały, choćby nawet blaszki, z których stos się składał, były wyraźnie pryzmatyczne. Te stosy polaryzowały światło, które przez nie przechodziło, prawie zupełnie, gdy kąt padania, liczony od powierzchni, był równy trzydziestu stopniom. Pod tym właśnie nachyleniem każda z nich była umieszczona przed jedną ze szpar w cienkiej blaszce miedzianej.

Kiedy obydwie płaszczyzny padania były równoległe i kiedy oby dwa stosy były nachylone w tym samym kierunku, np. od góry do dołu, widać było wyraźnie prążki utworzone przez interferencję dwu wiązek spolaryzowanych, zupełnie jak wówczas, gdy się wywołuje wzajemne oddziaływanie dwu promieni światła zwyczajnego; kiedy jednak, przy obracaniu jednego ze stosów koło promienia padającego, dwie płaszczyzny padania stawały się wzajemnie prostopadłe (tak np. pierwszy stos pozostawał wciąż nachylony od góry do dołu, a drugi był przechylony od lewej ręki do prawej), wówczas dwie wiązki wychodzące, spolaryzowane w kierunkach przeciwnych, spotykając się, nie tworzyły już żadnego prążka dostrzegalnego.

Środki ostrożności, któreśmy przedsięwzięli, aby nadać obydwu stosom tę samą grubość, dostatecznie pozwalają przewidzieć, że, umieszczając je przed szparkami, zważaliśmy, aby światło przechodziło przez nie w tych częściach, które przylegały do siebie przed podziałem stosu wielkiego. Widzieliśmy zresztą, i ta okoliczność odpiera wszelkie zarzuty, które możnaby czynić pod tym względem, że prążki pokazywały się w sposób zwykły, kiedy promienie były spolaryzowane w tym samym kierunku; dodajmy niemniej, że powolna i stopniowa zmiana w nachyleniu jednego ze stosów nigdy nie wywoływała ukazywania się prążków, kiedy płaszczyzny padania były wzajemnie prostopadłe.

## Rozdział VIII.

### HENRYK HERTZ.

### O związku pomiędzy światłem a elektrycznością.

Odczyt, wygłoszony w Heidelbergu d. 20-go września 1889 r. na Zjeździe Przyrodników i Lekarzy Niemieckich [1]).

Wielce Szanowni Zgromadzeni!

GDY mowa o związku pomiędzy światłem a elektrycznością, laikowi przychodzi na myśl przedewszystkiem światło elektryczne. Z tym tematem jednak odczyt nasz dzisiejszy nie będzie miał nic do czynienia. Fizykowi przychodzi wówczas na myśl szereg subtelnych oddziaływań wzajemnych pomiędzy obiedwiema siłami, jak skręcanie płaszczyzny polaryzacji zapomocą prądu lub zmiana oporu przewodzenia na skutek działania światła. W tych razach atoli światło i elektryczność nie oddziaływują bezpośrednio; jako pośrednik pomiędzy dwiema wielkiemi siłami występuje trzeci czynnik — materja ważka. I tą grupą zjawisk nie będziemy się zajmować. Pomiędzy dwiema siłami istnieją inne związki, głębsze, ściślejsze, niż dotychczas wymienione. Zamierzam przed Państwem bronić twierdzenia następującego: światło *jest* zjawiskiem elektrycznem, światło samo w sobie, całe światło, światło słońca, światło świecy, światło robaczka świętojańskiego. Usuńcie ze świata elektryczność, a zniknie światło; weźcie ze świata eter światłonośny, a siły elektryczne i magnetyczne nie będą mogły przechodzić przez przestrzeń. Takiem jest nasze twierdzenie; a przedświadczenie o tem nie powstało dziś lub wczoraj, lecz ma już za sobą dłuższą historję. Ta historja nadaje mu trwałe podstawy. Moje własne doświadczenia, dotyczące tego przedmiotu, tworzą tylko jedno z ogniw dłuższego łańcucha. I chciałbym

---

[1]) Według tekstu, znajdującego się w tomie I-szym zbiorowego wydania pism H. Hertza na str. 339. (Gesammelte Werke von Heinrich Hertz, B. I, Leipzig, 1895).

mówić Państwu o całym łańcuchu, a nie — o pojedyńczem ogniwie. Areną wydarzeń, które tu traktujemy, jest przestrzeń pusta, eter. Tych wydarzeń, jako takich, nie dotknie ręka, nie usłyszy ucho, nie ujrzy oko; są one dostępne oglądowi wewnętrznemu, powiązaniu pojęciowemu, lecz trudno się poddają opisowi zmysłowemu. Będziemy się zatem starali w granicach możliwości nawiązywać nasze przedstawienie sprawy do tych intuicyjnych obrazów i wyobrażeń, które już posiadamy. Uprzytomnijmy sobie przeto, co wiemy pewnego o świetle i elektryczności, zanim sprobujemy powiązać ze sobą obydwa te czynniki.

Czemże jest światło? Od czasów Young'a i Fresnel'a wiemy, że jest ruchem falowym. Znamy prędkość fal, znamy ich długość, wiemy, że są poprzeczne; znamy, jednem słowem, najdoskonalej stosunki geometryczne ruchu. W tych rzeczach wątpliwości już nie są możliwe, obalenie tych poglądów jest nie do pomyślenia dla fizyka. Teorja falowa światła, ze stanowiska ludzkiego jest pewnikiem; to, co z niej jako wniosek konieczny wypływa, również jest pewnikiem. A zatem jest też pewnem, że cała nam znana przestrzeń nie jest pusta, lecz napełniona substancją, w której mogą bić fale, — eterem. Choć jednak nasze wiadomości o stosunkach geometrycznych w tej substancji są zupełnie określone, pomimo to nasze wyobrażenia o naturze fizycznej tych zjawisk są jeszcze niejasne, a nasze założenia o własnościach samej substancji po części pełne sprzeczności. Z początku naiwnie i bez troski, porównywując fale świetlne z głosowemi, uważano je za fale sprężyste i z tego stanowiska traktowano. Jednak fale sprężyste w cieczach znane są tylko w postaci fal podłużnych. Sprężyste fale poprzeczne nie są znane w cieczach, a nawet nie są możliwe, gdyż sprzeczne są z naturą stanu ciekłego. Należało więc założyć, że eter, wypełniający przestrzeń, zachowuje się jak ciało stałe. Gdy znów jednak rozpatrywano bieg ciał niebieskich, odbywający się bez przeszkód, i próbowano zdać sobie sprawę z jego możliwości, nie można było uniknąć mniemania, że eter zachowuje się jak ciecz doskonała. Te dwa równoległe założenia tworzyły bolesną dla umysłu sprzeczność, która szpeciła pięknie rozwiniętą optykę. Nie próbujmy tej sprzeczności osłaniać; zwróćmy się raczej ku elektryczności; może badania w tej dziedzinie pomogą nam do usunięcia i tej trudności.

Czemże jest elektryczność? To, coprawda, wielkie pytanie. Przeważna część tych ludzi, którzy to pytanie wysuwają, nie wątpi o istnieniu samej elektryczności, oczekuje natomiast opisu, wyliczenia wła-

sności i sił tej zadziwiającej substancji. Dla fachowca ma to zagadnienie przedewszystkiem inną postać: czy wogóle istnieją rodzaje elektryczności? Czy zjawisk elektrycznych, jak i wszelkich innych, nie można sprowadzić li tylko do własności eteru i materji ważkiej? Dalecy jesteśmy od tego, byśmy mogli odpowiedzieć na to pytanie twierdząco, w mniemaniu, żeśmy rozstrzygnęli zagadnienie. W naszych wyobrażeniach elektryczność, pomyślana jako substancja, napewno odgrywa wielką rolę. I w sposobie wyrażania się dziś panują jeszcze nieograniczenie, całkowicie z dawnych czasów pochodzące wyobrażenia o dwu przyciągających się i odpychających elektrycznościach, które swemi oddziaływaniami na odległość są obdarzone, jakby własnościami duchowemi; w tych wyobrażeniach wszyscy jesteśmy biegli, umiłowaliśmy je do pewnego stopnia. Powstały one w epoce, kiedy prawo grawitacji N e w t o n'a święciło na niebie swe największe tryumfy, a umysły ludzkie zżyły się z wyobrażeniem o bezpośredniem oddziaływaniu na odległość.

Przyciągania elektryczne i magnetyczne podlegały temu samemu prawu, co i działanie grawitacji; cóż dziwnego, że mniemano, iż, przyjmując podobne oddziaływanie na odległość, wytłumaczy się zjawiska najprostszym sposobem, sprowadzi się je do ostatecznej poznawalnej zasady. Prawda, uległy te stosunki zmianie, kiedy w bieżącem stuleciu włączono jeszcze do tej dziedziny oddziaływania wzajemne pomiędzy prądami elektrycznemi i magnesami; te zjawiska są nieskończenie bardziej urozmaicone, w nich ruch i czas odgrywają nader wielką rolę. To zmusiło do powiększenia liczby oddziaływań na odległość, do zabiegów koło ulepszenia matematycznej formy ich ujmowania. Ginęła przytem coraz bardziej prostota i prawdopodobieństwo fizyczne. Próbowano przywrócić je, odszukując proste wzory, obejmujące liczne przypadki i wyrażające tak zwane prawa elementarne. Słynne prawo W e b e r a stanowi najważniejszą próbę tego rodzaju. Można być różnego mniemania o słuszności tego prawa, niemniej całokształt tych starań tworzył zamknięty w sobie systemat naukowy, pełen powabu; kto raz wkroczył w zaczarowane koło tego systematu, pozostawał w niem, jakby więzień. Choć droga obrana była fałszywym szlakiem, ostrzeżenie przed nią mogło wyjść tylko od umysłu, posiadającego wielką świeżość, który na nowo, bez uprzedzeń przystępował do zjawisk, który za punkt wyjścia brał to, co widział, a nie to, — co słyszał, czego się nauczył, co wyczytał. Taki umysł posiadał F a r a d a y. F a r a d a y słyszał, coprawda, zdanie, że, elektryzując ciało, coś się doń wprowadza, widział je-

dnak, że zmiany zachodzące dawały się dostrzec tylko nazewnątrz ciał, a nie — w ich wnętrzu. F a r a d a y'a uczono, że siły poprostu przeskakują przez przestrzeń, widział on jednak, że największy wpływ na siły wywierały substancje, wypełniające przestrzeń, przez którą rzekomo przeskakiwały siły. F a r a d a y czytał, że napewno istnieją elektryczności, że jednak sporne są siły przez nie wywierane, a jednak widział on, że te siły w sposób dotykalny rozwijały swe działania, gdy tymczasem samych elektryczności zupełnie nie mógł zauważyć. Tym sposobem dokonywał się przewrót w jego wyobrażeniach. Same siły elektryczne i magnetyczne stawały się dlań rzeczą daną, rzeczywistą; elektryczność, magnetyzm stawały się dlań rzeczami, o których istnienie można się sprzeczać. Linje sił, tak bowiem nazywał siły pomyślane jako coś samodzielnego, stały przed wzrokiem jego duszy w przestrzeni jako stany tej przestrzeni, jako napięcia, wiry, prądy, jako coś wreszcie, czego on sam nieraz nie mógł określić; występowały jednak, oddziaływały na siebie wzajemnie, przesuwały i pchały ciała tu i tam, rozchodziły się od punktu do punktu, przekazując sobie pobudzenia. Na zarzut, jak w przestrzeni próżnej możliwe są inne stany, prócz spoczynku, mógł odpowiedzieć: Czyż przestrzeń jest pusta? Azaliż już światło nie zmusza nas do myślenia, że ona jest pełna? Czy eter, który przenosi fale światła, nie mógłby również posiadać zdolności ulegania zmianom, które nazywamy siłami elektrycznemi i magnetycznemi? Czy nie możnaby nawet pomyśleć o związku pomiędzy temi zmianami a tamtemi falami? Czy fale światła nie mogłyby być czemś w rodzaju drgań tak pomyślanych linij sił?

Tak daleko mniej więcej, szedł F a r a d a y w swych wyobrażeniach, w swych przypuszczeniach. Dowieść ich nie mógł. Gorliwie szukał dowodów. Badania nad związkiem światła, magnetyzmu, elektryczności były ulubionemi tematami jego prac. Piękny związek [1]), który znalazł, nie był tem, czego szukał. Szukał też dalej, i dopiero w najstarszym wieku zaprzestał tych badań. Pomiędzy wieloma pytaniami, które wciąż wysuwał, powracało niezmiennie pytanie, czy rozchodzenie się sił elektrycznych i magnetycznych wymaga czasu. Kiedy zapomocą prądu wzbudzamy magnes, to czy jego działanie daje się natychmiast wyczuć aż do najdalszych odległości? Czy też sięga ono z początku sąsiednich igieł, później następnych, wreszcie najdalszych? Kiedy szybko zmieniamy naelektryzowanie danego

[1]) (Tł.). Magnetyczne skręcanie płaszczyzny polaryzacji.

ciała, czy siła waha się równocześnie na wszelkich odległościach? Lub też, — czy wahania zachodzą tem później, im bardziej się oddalamy od ciała? W tym ostatnim przypadku działanie wahań rozchodziłoby się w przestrzeni w postaci fali. Czy istnieją takie fale? Faraday nie otrzymał już odpowiedzi na te pytania. A jednak odpowiedź na nie jest związana najściślej z jego wyobrażeniami podstawowemi. Jeżeli istnieją fale sił elektrycznych, które, nie bacząc na swe pochodzenie, śpieszą wdal w przestrzeni, to świadczą one najwyraźniej o samodzielnem istnieniu sił, które je tworzą. Że te siły nie przeskakują przestrzeni, lecz biegną naprzód od punktu do punktu, tego dowiedziemy najlepiej, śledząc ich posuwanie się naprzód z momentu na moment. To też na postawione pytania można odpowiedzieć; te rzeczy dają się rzeczywiście ująć zapomocą nader prostych doświadczeń. Gdyby Faradayowi było danem wyśledzić drogę do tych doświadczeń, jego wyobrażenia byłyby niezwłocznie zapanowały wszechwładnie. Związek pomiędzy światłem a elektrycznością byłby od początku wystąpił tak jasno, że nie byłby mógł ujść nawet mniej bystremu, niż jego, wzrokowi.

Nie była znów sądzona nauce tak łatwa i szybka droga. Doświadczenia chwilowo nie dały żadnych wahań, a i teorja zrazu była daleka od wejrzenia w krąg myśli Faraday'a. Mniemanie, że siły elektryczne mogą istnieć niezależnie od ładunków elektrycznych je wzbudzających, przeczyło wprost panującym teorjom elektrycznym. Również i panująca optyka odsuwała stanowczo myśli, by fale światła miały charakter inny, niż sprężysty. Próba gruntowniejszego traktowania jednego czy drugiego poglądu, musiała się wydawać niemal próżną spekulacją. Jak bardzo musimy podziwiać zatem szczęśliwą umysłowość człowieka, który dwa przypuszczenia, tak dalekie jedno od drugiego, umiał powiązać ze sobą w ten sposób, że się wzajemnie wspierały, i w wyniku otrzymał teorję, której à priori nie można było odmówić wewnętrznego prawdopodobieństwa. Człowiekiem, o którym mówię, był Anglik Maxwell. Znana jest jego praca ogłoszona w roku 1865 pod nazwą elektromagnetycznej teorji światła. Nie można studjować tej przedziwnej teorji, żeby nie doznawać chwilami uczucia, że wzory matematyczne posiadają samodzielne życie i własny rozum, że one są mądrzejsze od nas, że są nawet mądrzejsze od ich wynalazcy, że one dają nam więcej, niż w nie włożono w swoim czasie. Ta rzecz nie jest wprost niemożliwa; może się to zdarzyć, gdy wzory zawierają tyle istotnej treści, że wybiegają poza miarę tego, co wynalazca mógł wiedzieć z pewnością. Coprawda nie możnaby

znaleźć takich szeroko ujmujących zjawiska i prawdziwych wzorów, gdyby z poza zasłony, którą jest okryta natura, niezmiernie przenikliwemu wzrokowi nie prześwitywało słabe wskazanie prawdy. Dla ludzi kompetentnych jasnem jest, jakie wskazanie kierowało M a x w e l l e m. To wskazanie nasunęło się przecież i innym badaczom i pobudziło ich, mianowicie R i e m a n n a i L o r e n z a, do podobnych, choć nie tak szczęśliwych spekulacyj. Stanowiła je następująca okoliczność. Poruszająca się elektryczność wytwarza siły magnetyczne, poruszający się magnetyzm wytwarza siły elektryczne; działania stają się jednak widoczne tylko przy bardzo dużych prędkościach. W stosunkach wzajemnych pomiędzy elektrycznością i magnetyzmem wchodzą w grę prędkości, a stała, która rządzi temi stosunkami i wciąż w nich powraca, sama jest prędkością olbrzymiej wartości liczbowej [1]). Została ona wyznaczona różnemi drogami (najsamprzód przez K o h l r a u s c h a i W e b e r a) na podstawie czysto elektrycznych doświadczeń; o ile wogóle trudne te doświadczenia pozwalały wnioskować, okazała się ona równą innej ważnej prędkości, prędkości światła. Mógł to być przypadek, lecz uczniowi szkoły F a r a d a y a nie mogło się to wydawać przypadkiem. Dla niego wynik musiał być skutkiem tego, że ten sam eter przekazuje siły elektryczne i światło. Obydwie, jak znaleziono niemal równe prędkości, musiały naprawdę być dokładnie równe. W takim razie jednak najważniejsza stała optyczna tkwiła już we wzorach elektrycznych. To była więź, którą M a x w e l l starał się umocnić. Uzupełnił on wzory elektryczne w ten sposób, że zawierały one wszystkie zjawiska znane, obok nich jednak — dziedzinę nieznaną, fale elektryczne. Te fale okazały się wówczas falami poprzecznemi o dowolnej długości; jednak w próżni musiały się rozchodzić zawsze z jednakową prędkością, prędkością światła. Wtedy też mógł M a x w e l l wskazać na to, że fale o takich ściśle własnościach geometrycznych naprawdę istnieją w naturze; nie jesteśmy, coprawda, przyzwyczajeni uważać je za zjawiska elektryczne, lecz oznaczamy je osobnym terminem — światło. Trzeba przyznać, że jeżeli się odrzucało M a x w e l l a teorję elektryczności, odpadała wszelka podstawa przyłączania się do jego poglądów na światło. Lub też, jeżeli się stało mocno na stanowisku, że światło jest zjawiskiem natury sprężystej, jego teorja elektryczna traciła grunt pod nogami. Jeżeli się jednak przystępowało do jego budowli, nie troszcząc się o istnie-

[1]) (Tł.). Patrz str. 138 — 145 tego tomu.

jące poglądy, widziało się, że jedna część podtrzymuje drugą, jak głazy sklepienia, i zdawało się, że całość wiąże rzeczy znane ponad głęboką przepaścią niewiadomego. Trudność teorji, trzeba przyznać, nie pozwalała, by poczet jej zwolenników był odrazu bardzo duży. Kto jednak raz ją przemyślał, stawał się jej adherentem i odtąd starał się gorliwie badać jej pierwsze założenia i jej ostateczne wnioski. Badanie doświadczalne musiało, coprawda, przez czas dłuższy poprzestawać na oddzielnych twierdzeniach, na fasadzie teorji. Porównałem dopiero co teorję Maxwellowską ze sklepieniem, przerzuconem ponad przepaścią rzeczy nieznanych. Jeżeli wolno mi trzymać się jeszcze tego obrazu, to powiedziałbym, że wszystko, co można było uczynić przez długi czas dla nadania siły temu sklepieniu, polegało na wmacnianiu obu punktów oparcia. Sprawiono przez to, że sklepienie mogło się trwale samo przez się utrzymać; miało ono jednak jeszcze zbyt wielką rozpiętość, by można się było ośmielić na niem, jako na trwałej podstawie, budować dalej wgórę. Do tego były potrzebne specjalne słupy podtrzymujące, wmurowane w stały grunt, któreby podtrzymywały środek sklepienia. Do *jednego* z takich słupów możnaby przyrównać dowód, że ze światła możemy bezpośrednio otrzymać działania elektryczne i magnetyczne. Ten słup byłby nadał bezpośrednio bezpieczeństwo części optycznej budowli, a pośrednio — części elektrycznej. *Drugi* słup byłby stanowił dowód, że istnieją fale siły elektrycznej lub magnetycznej, które się mogą rozchodzić na podobieństwo fal świetlnych. Ten słup odwrotnie byłby podpierał bezpośrednio część elektryczną, a pośrednio — optyczną. Harmonijne wykończenie budowli będzie wymagało postawienia obu słupów, do pierwszego użytkowania wystarczy jednak jeden z nich. Do budowy pierwszego słupa jeszcze nie można było przystąpić; dla wybudowania ostatnio wymienionego po długiem poszukiwaniu udało się nareszcie znaleźć pewny punkt oparcia. Fundament został położony na dostatecznej szerokości; część słupa już stoi wymurowana; dzięki pracy wielu rąk pomocnych dosięgnie on niedługo pokrywy sklepienia; tym sposobem sklepienie zostanie uwolnione od ciężaru budowli, która ma być wyżej postawiona. Miałem szczęście w tem miejscu móc wziąć udział w pracy. Tej okoliczności zawdzięczam zaszczyt, że mogę do Państwa dziś przemawiać; niech to będzie usprawiedliwieniem, że teraz całą uwagę Państwa sprobuję skierować na tę część budowli. Prócz tego, przyznać trzeba, krótkość tej godziny zmusza mnie, bym, nie bacząc na względy sprawiedliwości, przeskoczył w pośpiechu prace wielu badaczy; nie mogę

Państwu pokazać, pod jak wielu względami moje doświadczenia były przygotowane, jak blisko doszli byli poszczególni badacze do ich przeprowadzenia.

Czy zatem istotnie tak trudno było dowieść, że siły elektryczne i magnetyczne wymagają czasu w swem rozchodzeniu się? Czy nie można było wyładować butelkę Lejdejską i obserwować bezpośrednio, czy drganie oddalonego elektroskopu nie następuje nieco później? Czy nie wystarczało w tym samym celu obserwować igłę magnetyczną, podczas nagłego wzbudzania elektromagnesu na pewnej odległości? W istocie te lub podobne doświadczenia już i dawniej podejmowano, jednak nie dostrzeżono różnicy w czasie występowania przyczyny i skutku. Zwolennikowi teorji Maxwellowskiej musiało się to, coprawda, wydać konsekwencją konieczną, wynikającą z olbrzymiej prędkości rozchodzenia się. Ładunek butelki Lejdejskiej, siłę magnesu możemy ostatecznie dostrzegać tylko w umiarkowanych oddaleniach, powiedzmy w odległości 10 metrów. Taką przestrzeń przebiega światło, według teorji zatem i siła elektryczna, w trzydziestomiljonowej części sekundy. Tego rodzaju cząstki czasu nie możemy ani bezpośrednio mierzyć, ani dostrzegać. Co gorsza, nie rozporządzamy nawet znakami, któreby pozwoliły odgraniczyć dość ostro taki odstęp czasu. Gdy chcemy mierzyć długość z dokładnością do dziesiątej części milimetra, nie możemy jej początku naznaczyć szeroką kreską kredy. Jeżeli chcemy określić czas z dokładnością do tysiącznej części sekundy, bezsensownem jest chcieć wskazać jego początek zapomocą uderzenia wielkiego dzwonu. Czas wyładowania butelki Lejdejskiej jest, coprawda, znikomo krótki z punktu widzenia naszych zwykłych pojęć. Uchodziłby już jednak za znikomy, gdyby wypełniał jedną trzydziestotysiączną część sekundy. Lecz dla naszego obecnego celu byłby on wówczas tysiąc razy za długi. Jednak natura wskazuje nam tutaj sposoby subtelniejsze. Wiemy oddawna, że wyładowanie butelki Lejdejskiej nie jest zjawiskiem przebiegającem jednostajnie, że składa się ono, podobnie do bicia dzwonu, z wielkiej liczby drgań, z wyładowań odbywających się w tę i tamtą stronę, które następują po sobie w dokładnie równych odstępach. Elektryczność jest w stanie naśladować drgania sprężyste. Ponieważ trwanie każdego drgania zosobna jest mniejsze, niż trwanie całego wyładowania, można wpaść na myśl, by użyć drgania pojedyńczego jako znaku. Niestety jednak najkrótsze obserwowane drgania wypełniają jeszcze całą miljonową część sekundy. Podczas przebiegu takiego drgania, jego działanie rozchodzi się już na trzysta me-

trów; w szczupłej przestrzeni pokoju musianoby dostrzegać działanie równocześnie z drganiem. Tak więc zjawiska znane nie mogły dopomóc w pomiarze; niezbędna była znajomość nowych faktów. Przybył wówczas fakt doświadczalny, że nie tylko wyładowanie butelek daje początek drganiom, że pozatem w odpowiednich warunkach wyładowanie dowolnego przewodnika powoduje drgania. Te drgania mogą być znacznie krótsze, niż drgania butelek. Kiedy się wyładowuje konduktor maszyny elektrostatycznej, zostają wzbudzone drgania, których okres leży pomiędzy jedną stomiljonową a jedną tysiącmiljonową częścią sekundy. Prawda, te drgania nie następują po sobie długim szeregiem, są to wahnienia nieliczne, szybko zamierające. Byłoby lepiej dla naszych doświadczeń, gdyby się rzecz miała inaczej. Lecz możliwość powodzenia byłaby już zapewniona, gdybyśmy otrzymali choć dwa, trzy takie ostre znaki. Również w dziedzinie akustyki, klepiąc kawałkami drzewa, możemy wytworzyć lichą muzykę, jeżeli nam są wzbronione tony piszczałek i strun.

Mamy teraz znaki, dla których trzydziestomiljonowa część sekundy nie jest już krótka. Jednak nie dużoby się nam przydały, gdybyśmy nie byli w stanie rzeczywiście obserwować ich działania w zamierzonej odległości rzędu dziesięciu metrów. Na to jest bardzo prosty sposób. Tam, gdzie chcemy dostrzegać siłę, umieszczamy przewodnik, np. prosty drut, posiadający po środku subtelną metę iskrową. Szybkozmienna siła wprawia w ruch elektryczność przewodnika i sprawia to, że występuje w nim iskra. I ten środek obserwacji musiał być dostarczony przez samo doświadczenie, rozumowaniem nie można było tego przewidzieć; — gdyż iskierki są mikroskopijnie małe, zaledwie długości setnej milimetra; ich czas trwania nie wynosi nawet miljonowej sekundy. Wydaje się niemożliwem, prawie sprzecznem ze zdrowym rozsądkiem, żeby mogły być widoczne; lecz są widoczne w pokoju zupełnie ciemnym, gdy się chroni oko od światła obcego. Na tej cienkiej nitce wisi powodzenie naszego przedsięwzięcia. Najsamprzód nasuwa się mnóstwo pytań. W jakich warunkach stają się nasze drgania najsilniejsze? Starannie musimy okoliczności wyszukać i zużytkować. Jaki kształt nadać najlepiej przewodnikowi odbierającemu? Możemy wybrać przewodniki proste, możemy wziąć druty wygięte w kształt koła, możemy wziąć przewodniki innego kształtu; zjawiska za każdym razem inaczej wypadną. Kiedyśmy ustalili kształt, jaką wybrać wielkość? Niebawem okazuje się, że ona nie jest obojętna, że nie każde drganie możemy badać tym samym przewodnikiem, że zachodzą tu związki, które przypominają zjawiska

rezonansu w akustyce. A wreszcie, w iluż to różnych pozycjach możemy ustawiać ten sam przewodnik w stosunku do drgań! Widzimy, że iskierka to staje się mocniejsza, to słabnie, to zupełnie zanika. Jest to śmiałość z mej strony, że mówię o tem na obecnem Zgromadzeniu; przecież w stosunku do całokształtu zagadnienia to są drobiazgi. Lecz nie są to drobiazgi dla człowieka pracującego we wspomnianej dziedzinie. To są właściwości jego narzędzi.

Od stopnia zaznajomienia się robotnika z narzędziem zależy, co tem narzędziem wytworzy. Badanie narzędzia, zagłębianie się we wspomniane kwestje stanowiło właśnie główną część trudności pracy, nad któremi trzeba było zapanować. Gdy ta część została wykonana, zaatakowanie głównego pytania nasunęło się samo przez się. Proszę dać fizykowi szereg kamertonów, pewną liczbę resonatorów i proszę zażądać od niego, by wykazał rozchodzenie się głosu w czasie, a nie napotka on trudności, nawet mając do rozporządzenia tylko ograniczoną przestrzeń pokoju. Umieści on kamerton w dowolnym punkcie pokoju, przysłuchiwać się będzie głosowi zapomocą resonatora w różnych miejscach przestrzeni i będzie baczyć na natężenie głosu. Wykaże wtedy, że w poszczególnych punktach staje się ono nader słabem; pokaże on, iż wynika to stąd, że w danych miejscach każde drganie znosi się wskutek oddziaływania drugiego, później wychodzącego, które dochodzi do celu na drodze krótszej. Jeżeli krótsza droga mniej czasu wymaga, niż długa, rozchodzenie się zachodzi w czasie. Postawione pytanie zostanie rozwiązane. Lecz nasz akustyk pokaże nam dalej, że miejsca ciche następują po sobie perjodycznie, w równych odstępach; zmierzy on na tej zasadzie długość fali i, jeżeli zna okres drgania kamertonu, otrzyma stąd prędkość głosu. Nie inaczej, lecz ściśle tak samo postępujemy z naszemi drganiami elektrycznemi. Zamiast kamertonu umieszczamy drgający przewodnik. Zamiast resonatora uciekamy się do naszego przeciętego drutu, który też nazywamy resonatorem elektrycznym. Dostrzegamy, że w niektórych miejscach przestrzeni wytwarza on iskry, a w innych jest wolny od iskier; widzimy, że miejsca martwe następują po sobie perjodycznie w niezmiennej regularności, — rozchodzenie się w czasie jest stwierdzone, wymierzanie długości fali jest możliwem. Nasuwa się pytanie, czy znalezione fale są falami podłużnemi czy poprzecznemi. Trzymamy nasz drut w tem samem miejscu fali w dwu pozycjach; z pierwszym razem odzywa się on, za drugim nie. Nic nam więcej nie trzeba; zagadnienie jest rozwiązane, to są fale

poprzeczne. Powstaje pytanie, jaka jest ich prędkość. Dzielimy zmierzoną długość fali przez obliczony okres drgań i znajdujemy prędkość, która jest pokrewna prędkości światła. Jeżeli się powątpiewa o pewności wyniku, który daje obliczenie, to pozostaje jeszcze inna droga. Prędkość fal elektrycznych w drutach jest również olbrzymia, możemy z nią bezpośrednio porównać prędkość naszych fal w powietrzu. Lecz prędkość fal elektrycznych w drutach została dawno zmierzona bezpośrednio; było to dlatego możliwe, że te fale można śledzić na odległości wielu kilometrów. Tym sposobem otrzymujemy drogą pośrednią czysto eksperymentalny pomiar naszej prędkości, a choć wynik jest tylko zgruba przybliżony, nie przeczy on jednak poprzednio otrzymanemu.

Wszystkie te doświadczenia są w gruncie rzeczy bardzo proste, prowadzą one jednak do najważniejszych konsekwencyj. Są one zabójcze dla każdej teorji, która uważa, że siły elektryczne przeskakują przestrzeń, nie zużywając na to czasu. Oznaczają one świetne zwycięstwo teorji M a x w e l l'a. Ta ostatnia nie łączy już odległych zjawisk natury, pomiędzy któremi niema więzi wspólnej. Jeżeli przedtem pogląd teorji na istotę światła nie miał, zdawało się, najmniejszego prawdopodobieństwa, teraz trudno uchronić się od tego poglądu. Pod tym względem osiągnęliśmy cel. Być może jednak pośrednictwo teorji jest tu nawet zbędne. Nasze doświadczenia poruszały się już przy samej przełęczy, która według teorji łączy dziedzinę światła z dziedziną elektryczności. Nasuwa się myśl uczynienia kilku dalszych kroków, aby sprobować zejścia w dziedzinę znanej optyki. Nie będzie zbytecznem wyeliminować teorję. Jest wielu miłośników przyrody, interesujących się istotą światła, dla których zrozumienie prostych doświadczeń nie jest rzeczą niedostępną, którzy jednak, pomimo to, uważać muszą teorję M a x w e l l'a za księgę o siedmiu pieczęciach. Lecz również i ekonomja nauki żąda unikania dróg okólnych, gdzie jest możliwa prosta droga.

Jeżeli przy pomocy fal elektrycznych możemy bezpośrednio wytworzyć zjawiska świetlne, to nie potrzebujemy żadnej teorji jako pośredniczki; pokrewieństwo zjawisk samo występuje w doświadczeniach. Takie doświadczenia rzeczywiście są możliwe. Przewodnik, który wytwarza drgania, umieszczamy na linji ogniskowej bardzo dużego zwierciadła wklęsłego. Dzięki temu fale biegną łącznie i wychodzą ze zwierciadła wklęsłego jako silna wiązka promieni. Coprawda, nie możemy tej wiązki ani bezpośrednio widzieć, ani odczuwać; jej

działanie ujawnia się tem, iż wzbudza ona iskierkę w przewodnikach, które napotyka. Te promienie stają się dla naszego oka widoczne wtedy dopiero, gdy oko jest uzbrojone w jeden z naszych resonatorów; pozatem są to prawdziwe promienie światła. Obracając zwierciadło, możemy wysyłać je w różnych kierunkach; odszukując drogę, którą one wybierają, możemy wykazać ich rozchodzenie się po linjach prostych. Jeżeli na drodze promieni umieścimy ciała przewodzące, nie przepuszczają one promieni, rzucają cienie. Ciała te nie niszczą jednak promieni, odrzucają je; możemy śledzić bieg promienia odbitego i przekonać się, że prawa odbicia są prawami odbicia światła. Możemy również załamywać promień podobnie, jak światło. Aby załamać promień świetlny, przepuszczamy go przez pryzmat; odchyla się on wtedy od drogi prostolinjowej. Podobnie postępujemy tutaj i z tym samym skutkiem. Musimy tylko, odpowiednio do rozmiarów fal i wiązki promieni, użyć bardzo dużego pryzmatu; sporządzamy go zatem z taniego materjału, np. ze smoły lub asfaltu. Wreszcie możemy badać na naszej wiązce promieni te zjawiska, które dotychczas obserwowano jedynie i wyłącznie w świetle, mianowicie — zjawiska polaryzacji. Wsuwając w bieg promieni ramę z drutami odpowiednio rozstawionemi, sprawiamy, iż iskry w naszym resonatorze to świecą, to gasną, — dokładnie według tych samych prawideł geometrycznych, w myśl których przez wsuwanie płytki krystalicznej ściemniamy i rozjaśniamy pole widzenia aparatu polaryzacyjnego.

Tyle o doświadczeniach. Wykonywując je, znajdujemy się całkowicie w dziedzinie nauki o świetle. Gdy doświadczenia te planujemy, opisujemy, nie myślimy już elektrycznie, myślimy optycznie. Nie widzimy już prądów płynących w przewodnikach, skupiających się ładunków elektrycznych; widzimy tylko fale w powietrzu, które się krzyżują, rozchodzą, łączą, wzmacniają i osłabiają. Wychodząc z dziedziny zjawisk czysto elektrycznych, krok za krokiem doszliśmy do zjawisk czysto optycznych. Przeszliśmy przez krawędź górską; droga zrazu spadzista znów się wyrównywa. Połączenie światła i elektryczności, które teorja wyobrażała sobie, przeczuwała, przewidziała, zostało uskutecznione, stało się uchwytnem dla zmysłów, zrozumiałem dla umysłu. Z najwyższego punktu, któryśmy osiągnęli, z samej przełęczy, otwiera się szeroki widok na obie dziedziny. Wydają się nam one większe, niżby wynikało z dotychczasowej naszej znajomości terenu. Optyka włada już nietylko falami eteru o wymiarach małego ułamka milimetra, opanowuje ona fale, których dłu-

gości mierzy się decymetrami, metrami, kilometrami. I pomimo tego rozszerzenia granic, widziana stąd, wydaje się tylko małym dodatkiem do dziedziny elektryczności. Ostatnia najwięcej zyskuje. Dostrzegamy elektryczność w tysiącu miejsc, gdzie dotychczas nie mieliśmy pewnych danych o jej obecności. W każdym płomieniu, w każdym atomie świecącym widzimy proces elektryczny. Również, gdy ciało nie świeci, dopóki tylko promieniuje ciepło, jest ono siedzibą bodźców elektrycznych. Tak rozprzestrzenia się dziedzina elektryczności na całą naturę. Zbliża się ona i do nas samych: dowiadujemy się, że, prawdę mówiąc, posiadamy organ elektryczny, — oko. Taki jest rzut oka wdół, na szczegóły. Wydaje się jednak, że nie mniej się opłaca z zajętego przez nas stanowiska rzut oka do góry, na wysokie szczyty, na ogólne cele. Tam, niedaleko od nas, widnieje zagadnienie o bezpośredniem oddziaływaniu na odległość wogóle. Czy ono istnieje? Z różnych oddziaływań na odległość, które zdawaliśmy się posiadać, pozostało tylko jedno, grawitacja. Czy i ona nas łudzi? Już samo prawo, według którego działa, budzi nasze podejrzenia. W innym kierunku, opodal, leży zagadnienie o istocie elektryczności. Zagadnienie to, z tego punktu dostrzegane, kryje się za bardziej określonem pytaniem o istocie sił elektrycznych i magnetycznych w przestrzeni. A bezpośrednio wiąże się z niemi, wznosi się potężnie, główne zagadnienie, dotyczące istoty, własności wypełniającego przestrzeń eteru, jego struktury, jego spoczynku lub ruchu, jego nieskończoności lub granic. Coraz bardziej wydaje się, że *to zagadnienie* przewyższa wszystkie inne, że znajomość eteru powinna nam nietylko ujawnić istotę dawnych imponderabiliów, lecz również — istotę samej materji i jej wewnętrznych własności, istotę ciężaru i bezwładności. Kwintesencja starodawnych systemów wiedzy fizycznej została nam przekazana w słowach, że wszystko, co jest, zostało stworzone z wody i ognia. Dzisiejsza fizyka już nie jest daleka od pytania, czy wszystko, co jest, nie zostało stworzone z eteru? Te rzeczy stanowią najwyższy cel naszej nauki, fizyki [1]). Są to, wracając do naszego obrazu, jej najwyższe zlodowaciałe szczyty górskie. Czy będzie nam sądzone kiedykolwiek postawić nogę na którymś z tych szczytów? Czy może się to stać dopiero po długim odstępie czasu?

---

[1]) Rozwój nauki poszedł jednak w innym zupełnie kierunku, aniżeli przewidywał genjalny odkrywca fal elektrycznych; czytelnik zechce porównać z tym odczytem tekst książki na str. 252—254. *(tł.)*.

Czy może się stać niebawem? Nie wiemy. Lecz uzyskaliśmy punkt oparcia do dalszych przedsięwzięć, który leży o szczebel wyżej, niż dotychczasowe; droga nie urywa się tu na gładkiej ścianie skały; jak się zdaje, ma jeszcze łagodne nachylenie, a między kamieniami znajdujemy ścieżki, które prowadzą w górę. Jest wielu gorliwych i wyćwiczonych badaczy; — jakże nie mielibyśmy pełni nadziei wyglądać powodzenia przyszłych przedsięwzięć?

---

DZIAŁ IV.

# KWANTY I FALE MATERJI

Fale a kwanty. Zjawisko fotoelektryczne. Kres widma Röntgenowskiego. Zjawisko Comptona i zjawisko Ramana. Zderzenia atomów z elektronami powolnemi. Stała Plancka. Fale de Broglie'a.

## Rozdział IX.

## PODSTAWY DOŚWIADCZALNE TEORJI KWANTÓW.

### A. Fale a kwanty.

WIEK XIX był wiekiem triumfu teorji falowej światła. Zdobycze tej teorji wydawały się tem trwalsze, że udało się powiązać ją ściśle z teorją zjawisk elektromagnetycznych; teorja Maxwell'a identyfikuje fale świetlne z falami elektromagnetycznemi. Istnieje ciągłe przejście od fal Hertza do fal świetlnych. Gdybyśmy odrzucili istnienie fal świetlnych, musielibyśmy, wbrew radjotechnice, odrzucić istnienie fal elektromagnetycznych, na co dziś, niewątpliwie, nikt się nie poważy.

W teorji elektromagnetyzmu, jak zresztą i w całej fizyce klasycznej, energja uchodzi za funkcję ciągłą. Założyć, iż energja występuje w postaci skupień nieciągłych, znaczy to samo, co zaprzeczyć słuszności podstawowych założeń elektrodynamiki klasycznej.

Uczynił to pierwszy Maks Planck około roku 1900. Chodziło mu o wytłumaczenie promieniowania ciała czarnego. Planck założył, iż energja układów wysyłających promienie (oscylatorów) istnieje w postaci pewnych elementów $\varepsilon$. Z dalszego rozwinięcia wzorów okazało się, iż taki element energji musi być proporcjonalny do częstości drgań oscylatora $\nu$. Oznaczając spółczynnik proporcjonalności literą $h$, otrzymujemy wzór:

$$\varepsilon = h\nu \qquad (1)$$

Element energji $\varepsilon$ nazywamy kwantem energji; $h$ otrzymało nazwę stałej Planck'a lub stałej powszechnej. Ponieważ $\nu = \frac{1}{T}$, gdzie $T$ oznacza okres drgań, posiada więc $\nu$ wymiar $\text{sek}^{-1}$; $\varepsilon$, jako energję, wyrazimy w ergach; stąd na wymiar $h$ otrzymujemy erg. sek.

Teorja kwantów energji promienistej nie pozostawiłaby zapewne głębszych śladów w fizyce, gdyby jej zastosowania polegały jedynie

na umożliwieniu teoretycznego wyprowadzenia prawa promieniowania ciała czarnego. Okazało się jednak, w sposób zgoła nieoczekiwany, że koncepcja kwantów energji daje nam możność ściśle ilościowego wytłumaczenia zjawisk w olbrzymiej dziedzinie emisji i absorbcji promieniowania, gdy tymczasem interpretacja na gruncie teorji falowej światła jest trudna, zawiła, bądź zgoła niemożliwa.

Do dziedziny największych triumfów teorji kwantów należą wszystkie zjawiska, dotyczące przemiany energji ruchu elektronów w energję promienistą, bądź też odwrotnie, — przemiany energji promienistej w energję ruchu elektronów. Stanie się to bardziej jasnem z wykładu dalszego.

Obok teorji falowej światła powstała więc teorja kwantowa, przyczem kwanty, jak wynika z badań nad zjawiskiem Comptona i fotoelektrycznością, należy traktować jako punktowe skupienia energji, posiadające określony pęd [1]). Każdej barwie, t. j. każdemu $\nu$ odpowiadałby zatem kwant określonej energji i pędu; trudno nie dostrzec, że hipoteza kwantów stanowi mutatis mutandis powrót do Newtona teorji korpuskułów świetlnych. W pewnych dziedzinach optyki (interferencja, dyfrakcja, załamanie podwójne) traktujemy światło, jako ruch fal ciągłych, w innych (emisja i absorbcja promieniowania) posługujemy się obrazem pocisków energji. Dwa te obrazy nie pokrywają się. Być może, iż pozatem wszystkiem kryje się jakaś wszechogarniająca jedność i że tylko słabość umysłu naszego nie pozwala nam jej ogarnąć narazie. Być może, iż wyobrażenia o świecie, które tworzymy na podstawie zjawisk makroskopowych życia codziennego, nie wystarczają do opanowania dziedziny przemian, odbywających się wewnątrz atomów. Spekulacje na ten temat nie posuwają sprawy naprzód. Niewątpliwem jest, że w chwili obecnej koniecznem jest dualistyczne pojmowanie promieniowania, sprzeczne z ogólną tendencją naszego umysłu do osiągnięcia na każdą sprawę poglądu harmonijnego, jednolitego. Poprzednio omawialiśmy zjawiska, podlegające teorji falowej; rozdział niniejszy poświęcimy kwantom.

Próbę ujęcia kwantów energji, jako czegoś zupełnie konkretnego, jako skupień energji, posiadających w przestrzeni określony kierunek, dał Einstein w roku 1905 [2]).

---

[1]) Niektórzy autorowie nadają pociskom kwantowym nazwę fotonów; będziemy się posługiwali i jednym i drugim terminem, gdyż nie może to być źródłem nieporozumień.

[2]) A. Einstein. Ueber einen die Erzeugung und Verwandlung der Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Ann. d. Physik, 1905, t. 17, str. 132.

W pracy wówczas ogłoszonej traktuje Einstein sprawę istnienia kwantów nader oględnie; wprowadza kwanty jedynie jako heurystyczny punkt widzenia. W rozprawie cytowanej podaje Einstein wzór zasadniczy, zwany często wzorem Einsteina, rządzący przemianami energji kinetycznej elektronów w energję promienistą i odwrotnie.

Zmieniając nieco symbole, napiszemy ten wzór Einstein'a w postaci poniższej:

$$Ve = \frac{1}{2} mv^2 \rightleftarrows h\nu \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (2$$

We wzorze tym oznacza $V$ różnicę potencjałów, $e$ — ładunek elementarny, czyli ładunek posiadany przez pojedyńczy elektron, $m$ oznacza masę elektronu, $v$ — prędkość elektronu, $h$ i $\nu$ mają to samo znaczenie, co i we wzorze (1) na str. 335. Znaczenie tego wzoru, jeżeli go odczytywać od lewej ręki ku prawej, jest następujące: gdy elektron przebiega w polu pewną drogę, wzdłuż której zachodzi spadek potencjału $V$ i wykonywana jest przez siły pola elektrycznego praca $Ve$, nabiera energji kinetycznej $\frac{1}{2} mv^2$; jeżeli ta energja kinetyczna elektronu przechodzi całkowicie w energję promienistą (co spotykamy np. w emisji promieni Röntgenowskich), powstaje kosztem niej pojedyńczy kwant energji $h\nu$. Wzór ma obowiązywać i w przemianach odwrotnych (np. w zjawisku fotoelektrycznem); należy go wówczas odczytywać od prawej ręki ku lewej: kwanty $h\nu$ energji promienistej, uderzając w elektrony, nadają im prędkość, którą można obliczyć na podstawie wzoru (2). Na podwójne znaczenie wzoru wskazują strzałki, zwrócone ostrzami w strony przeciwne.

Znany jest cały szereg zjawisk, których interpretacja sprowadza się do bezpośredniego stosowania wzoru Einstein'a, do realnego traktowania kwantów, jako pocisków energji. W zjawiskach tych najsilniej zaznacza się przeciwieństwo nowych poglądów i teorji falowej światła. Doskonałe potwierdzenie ilościowe wzoru Einstein'a, możność wyznaczenia stałej $h$ z ogromnym stopniem dokładności dały poglądom kwantowym duży stopień pewności i trwałości. Fakty, stanowiące bezpośrednią podstawę doświadczalną teorji kwantowej, rozpatrzymy w artykule niniejszym. Nie będziemy dążyli do wyczerpania materjału doświadczalnego; poprzestaniemy na zjawiskach nielicznych; badania nad niemi będziemy się starali rozpatrzyć krytycznie.

Przedstawimy kolejno: 1) zjawisko fotoelektryczne, 2) badania nad widmem ciągłem promieni Röntgena, 3) zjawiska Comptona i Ramana, 4) wzbudzanie zapomocą elektronów emisji pojedyń-

czych linij widomych. W końcu artykułu damy wreszcie zestawienie wartości stałej $h$, otrzymywanych różnemi metodami.

Zanim przejdziemy do szczegółowego omówienia tematu, uczynimy jeszcze uwagę w sprawie dokonywania obliczeń na mocy wzoru (2):

$$Ve = \frac{1}{2} mv^2 = h\nu.$$

Wartość ładunku elementarnego $e$ znana jest z doświadczeń Millikan'a; $e = 4.774 \times 10^{-10}$ jedn. elektrostatycznych; masa elektronu może być obliczona, gdyż stosunek $e/m$ znajduje się doświadczalnie na mocy odchylenia promieni katodowych w rurkach próżniowych. Tym sposobem, znając $V$, to jest różnicę potencjałów, nadającą pęd elektronowi, możemy obliczyć prędkość elektronu $v$; odwrotnie też, prędkość pozwala nam obliczyć różnicę potencjału, niezbędną do jej wytworzenia. Zauważymy, że ta sama różnica potencjałów, przy przeciwnym kierunku pola, wystarczyłaby do zahamowania ruchu elektronu. Zamiast wprowadzać prędkość elektronów, charakteryzuje się je zazwyczaj zapomocą odpowiedniej różnicy potencjałów. Mówi się więc o elektronach 300 woltowych, 10 woltowych i t. p.

Prosty przykład pozwoli przedstawić sposób obliczania bardziej konkretnie. Przypuśćmy, że naświetlamy płytkę, naelektryzowaną ujemnie, zieloną linją łuku rtęciowego, której długość fali $\lambda = 5461$ $A$. Światło (ob. niżej) wyzwala elektrony. Ich prędkość początkowa może być obliczona na podstawie wzoru Einsteina. (Rzeczywista prędkość elektronów będzie mniejsza, ob. równ. (3) str. 342). Pomijając ogniwo środkowe, napiszemy:

$$Ve = h\nu \text{ i } V = \frac{h}{e} . \nu$$

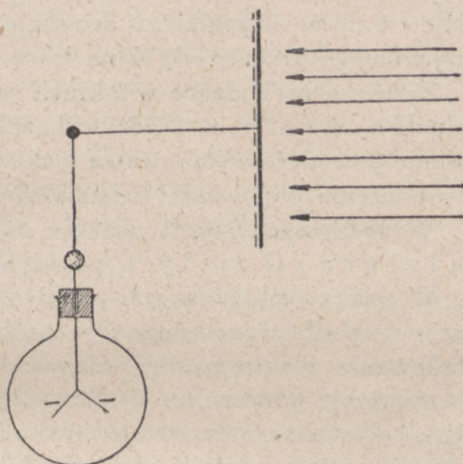
Wartość stałej Planck'a $h = 6.55 \times 10^{-27}$ erg. sek.; $e$, jak zaznaczyliśmy wyżej $= 4.774 \times 10^{-10}$ j. el. stat.; wzór na długości fali $\lambda = \frac{c}{\nu}$ gdzie $c$ oznacza prędkość światła $= 3 \times 10^{10}$ cm. sek.$^{-1}$, pozwala nam obliczyć $\nu$. W przypadku rozpatrywanej przez nas linji rtęciowej, gdy $\lambda = 5461$ $A = 5461 \times 10^{-8}$ $cm$, $\nu = \frac{3 \times 10^{10}}{5461 \times 10^{-8}} = 5.5 \times 10^{14}$ (w liczbie zaokrąglonej). Podstawiając te dane, otrzymalibyśmy $V$ w jednostkach elektrostatycznych; mnożąc przez 300, będziemy mieli napięcie w woltach. A więc

$$V = \frac{6.55 \times 10^{-27} \times 5.5 \times 10^{14} \times 300}{4.774 \times 10^{-10}} = 2.27 \text{ wolt}.$$

## B. Zjawisko fotoelektryczne.

### I. Doświadczenie podstawowe.

Płytkę metalową, świeżo oczyszczoną, łączymy z elektrometrem bądź czułym elektroskopem (rys. 78). Rzucając pęk promieni świetlnych, stwierdzamy, że płytka traci swój ładunek; przekonywamy się też o tem, że zjawisko jest asymetryczne z punktu widzenia własności obu rodzajów elektryczności: elektryczność dodatnia daje efekt bardzo słaby, niemal żaden. Najskuteczniej powodują wypływ elektryczności ujemnej promienie o fali krótkiej, a więc — o dużej częstości drgań.



Rys. 78.
Najprostszy sposób obserwowania zjawiska fotoelektrycznego.

Można to doświadczenie łatwo zrealizować nawet przy posiadaniu skromnych urządzeń eksperymentalnych. Najlepiej użyć płytki cynkowej, świeżo amalgamowanej; mniej czuła jest świeżo oczyszczona blacha aluminjowa; wystarczy powierzchnia niewielka, np. 6 × 6 cm.². Źródło światła powinno obfitować w fale krótkie, nadfiołkowe. Doskonałe wyniki daje łuk elektryczny pomiędzy prętami żelaznemi; wystarczy jednak zupełnie zwykły łuk Volty pomiędzy węglami. Obraz łuku rzucamy na płytkę zapomocą soczewki kwarcowej, gdyż kwarc przepuszcza promienie ultrafioletowe. Tanie soczewki kwarcowe spotykamy w handlu jako „kryształowe" soczewki do okularów; można je dostać w każdym większym sklepie optycznym; soczewkę wziąć o odległości ogniskowej około 10 cm. Każdy czuły elektroskop pozwoli wykazać zjawisko; zupełnie zadawalające wyniki dają elektroskopy demonstracyjne o listkach aluminjowych lub złotych. Wyładowanie elektryczności dodatniej jest kilkadziesiąt razy wolniejsze, niż ujemnej; wstawianie w bieg promieni kilku szybek szklanych momentalnie hamuje zjawisko wskutek pochłaniania promieni nadfiołkowych.

## II. Dane historyczne.

Zjawisko fotoelektryczne zostało odkryte przez Henryka Hertza przypadkowo przy wykonywaniu doświadczeń, dotyczących drgań elektrycznych. Hertz dostrzegł, że istnieje oddziaływanie jednej iskry na drugą. Zapomocą szeregu niezmiernie pomysłowych doświadczeń (praca ta daje uderzający przykład stosowania czysto doświadczalnej metody do badania nowego zjawiska) dowiódł Hertz, że czynnikiem decydującym było oddziaływanie światła wysyłanego przez iskrę *A* na iskrę *B*.

Zjawiska zachodzące w iskrach są nader zawiłe. W rok po odkryciu Hertza (w r. 1888) wykazał Hallwachs, że promieniowanie powoduje wyładowanie elektryczności ujemnej. Układ jego doświadczenia odpowiadał schematowi, przedstawionemu na rys. 78.

W następnych latach ukazuje się szereg badań doświadczalnych Elstera i Geitla [1]), poświęconych temu samemu zagadnieniu. W pracy tych uczonych punktem wyjścia było badanie oddziaływania światła słonecznego i rozproszonego światła dziennego na wyładowanie elektryczności ujemnej. Otrzymawszy wyniki dodatnie przy użyciu powierzchni cynkowych, autorowie stopniowo rozszerzają swe badania na inne metale, stwierdzają, że czułość wzrasta, gdy się stosuje metale bardziej elektrododatnie. To ich prowadzi wreszcie do

[1]) Nazwiska Juljusza Elstera i Hansa Geitla były ze sobą nierozłącznie związane i w literaturze naukowej, i w życiu. Podamy tu krótki życiorys tych niepospolitych ludzi, którzy umieli pogodzić zawodową pracę pedagogiczną z wybitną twórczością naukową. Rówieśnicy, urodzeni w r. 1855 w Brunświku, ukończyli równocześnie gimnazjum humanistyczne; obydwaj oddali się następnie studjom nad naukami przyrodniczemi i fizyką. W roku 1881 obydwaj zostali nauczycielami w gimnazjum w Wolfenbüttel pod Brunświkiem. Odtąd nie mieli się już rozstać aż do śmierci. Geitel, który był kawalerem, mieszkał w domu Elstera, żonatego. Na parterze mieli wspólne laboratorjum. Rozporządzali, szczególnie na początku, środkami nader skromnemi; talent eksperymentatorski niejednokrotnie zastępował im kosztowną aparaturę. Ogłosili wspólnie około 120 prac; między temi pracami jest znaczna liczba niezwykle dla nauki cennych, otwierających nowe horyzonty badania doświadczalnego. Prace ich stanowią do pewnego stopnia organicznie związaną ze sobą całość. Zaczęli od badań nad elektrycznością atmosferyczną. Szukając przyczyny dodatniego ładunku atmosfery, zatrzymali się na zjawisku fotoelektrycznem; w tej dziedzinie odkrywają prawa zasadnicze i dają konstrukcję fotometru fotoelektrycznego, który odegrał olbrzymią rolę w badaniach fizycznych i astronomicznych. Zjawiska fotoelektryczne nie pozwoliły całkowicie wytłumaczyć ładunku atmosfery; Elster i Geitel szukają nowych przyczyn i znajdują je w promieniotwórczości atmosferycznej. Należy sobie uprzytomnić, że w momencie tego kapitalnego odkrycia

użycia metali alkalicznych potasu, rubidu, sodu. Przezwyciężając wielkie trudności doświadczalne, sporządzają oni pierwsze komórki fotoelektryczne, wrażliwe nawet na czerwoną część widma; znajdują też nader interesujące dane co do efektu fotoelektrycznego pod wpływem światła spolaryzowanego.

Po pracach Elstera i Geitla, wykonanych w ostatnim dziesiątku lat ubiegłego stulecia, następują ważne badania Lenard'a, ogłoszone w r. 1900 i 1902 [1]). Lenard wytwarza prąd fotoelektryczny w próżni i wykazuje, że przez naświetloną katodę wyrzucane są elektrony. Ilość elektronów, wysyłanych przez katodę, zależy jedynie od natężenia światła. Różnica potencjałów, istniejąca pomiędzy elektrodami, wpływa jedynie na prędkość ostateczną elektronów. Elektrony opuszczają katodę, posiadając pewną prędkość początkową, zależną od rodzaju światła użytego, niezależną natomiast od intensywności oświetlenia katody.

Największy postęp w dziedzinie badania zjawiska fotoelektrycznego został następnie dokonany dzięki pracom amerykańskiego fizyka R. A. Millikan'a i jego uczniów. Badaniom tym poświęcił Millikan przeszło 10 lat pracy (1905—1916). Dzięki jak najdalej idącemu wydoskonaleniu techniki eksperymentalnej zdołał Millikan ustalić szereg praw i faktów, dotyczących emisji ele-

---

badaczy z Wolffenbüttel była znana jedynie promieniotwórczość kilku pierwiastków, nie wyobrażano sobie wcale rozległego rozpowszechnienia ciał promieniotwórczych w przyrodzie. Szeregiem prostych a pomysłowych doświadczeń wykazują Elster i Geitel, że emanacje promieniotwórcze i osad promieniotwórczy znajdują się wszędzie w atmosferze. Odkrywają przytem i inne fakty z dziedziny radiologji, między innemi, prawie równocześnie z Crookesem, — scyntylacje wywołane przez promienie $\alpha$.

Prace Elstera i Geitla uczyniły ich nazwiska głośnemi; otrzymali szereg odznaczeń od akademij i towarzystw naukowych. Rząd zaproponował im stanowiska profesorów uniwersyteckich i kierownictwo instytutem, który miał być wspaniale wyposażony materjalnie; ministerstwo ze zdumieniem dowiedziało się, że decyzja tych dwu skromnych nauczycieli wypadła odmownie. Odmowę motywowali tem, iż atmosfera małego miasteczka bardziej sprzyja ich twórczości naukowej, niż gwar wielkomiejski.

Warto zauważyć, że władze gimnazjalne umiały ocenić wartość tych wybitnych uczonych; liczbę ich godzin tygodniowych zredukowano do jakiejś trzeciej części godzin normalnych.

W roku 1920 zmarł Elster, w trzy lata po nim — Geitel.

[1]) P. Lenard. Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht. Annalen der Physik, r. 1900, t. 2, s. 359 i Ann. d. Phys. r. 1902, t. 8, s. 149.

ktronów pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego, i wykazał, że tak jakościowo, jak i ilościowo, daje się efekt fotoelektryczny wyłumaczyć zapomocą hipotezy kwantowej.

### III. Prawa zasadnicze i ich interpretacja.

Jak było wyżej powiedziane, Lenard dowiódł, że zjawisko fotoelektryczne polega na tem, iż płytka naelektryzowana ujemnie, poddana działaniu fal świetlnych, traci elektrony, które wybiegają z niej posiadając pewną prędkość początkową; pole elektryczne zewnętrzne może jedynie przyśpieszyć bieg elektronów. Związek pomiędzy światłem, a prądem ujmują niżej podane prawa.

Prawo I. Natężenie prądu fotoelektrycznego jest proporcjonalne do natężenia światła, wywołującego emisję (Lenard).

Prawo II. Prędkości, nadawane elektronom przez światło, nie zależą od natężenia światła (Lenard).

Prawo III (Millikan). Światło określonej długości fali, wyzwala elektrony różnych prędkości. Jest jednak pewna prędkość $v_1$ graniczna, maksymalna, której związek z częstością drgań światła wyzwalającego daje wzór Einsteina (wzór (2), str. 337); oznaczenia pozostawiono te same [1].

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = h\nu - p \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Dodajmy jeszcze do tego uwagę, że przy użyciu odpowiednich metali już najmniejsze ilości energji świetlnej dają wyraźne zjawisko i że emisja elektronów zachodzi momentalnie, bez żadnych opóźnien, a będziemy mieli kompleks faktów, który musi wytłumaczyć teorja efektu fotoelektrycznego.

Stańmy na chwilę na stanowisku falowej teorji promieniowania. Prawo I-sze wydaje się nam naturalną konsekwencją tej teorji; skłonni jesteśmy mniemać, że energja promienista bezpośrednio przekazywana jest elektronom; moglibyśmy nawet znaleźć potwierdzenie takiej koncepcji w pewnych doświadczeniach Elstera i Geitla, czego tu jednak rozwijać nie będziemy. Prawo II-gie obala jednak naszą koncepcję, gdyż prędkość elektronów, wyrzucanych przez po-

---

[1]) Stała $p$ oznacza pewną pracę; znaczenie tej stałej będzie omówione poniżej.

wierzchnię, musiałaby wzrastać z natężeniem światła, gdyby energja promieni przekazywana była elektronom bezpośrednio. Ponieważ jednak prędkość elektronów jest od natężenia światła niezależną, zmuszeni jesteśmy szukać innego wytłumaczenia. Lenard rzucił myśl, że światło jest tylko czynnikiem wyzwalającym, że elektrony posiadają określoną prędkość już wewnątrz atomu[1]). W takim razie jednak, skądby się brał związek pomiędzy maksymalną prędkością a częstością drgań światła pobudzającego, o czem mówi prawo III-cie?

Najprostsza interpretacja, którą niemal narzuca prawo III, jest następująca: kwant energji $h\nu$ przechodzi w energję kinetyczną elektronu, — nie całkowicie jednak, gdyż elektrony są wyrzucane nie tylko z powierzchni, lecz i z warstw głębszych, a spotykając na drodze swej atomy, tracą część energji; tym sposobem z metalu będą wybiegać elektrony o prędkościach najrozmaitszych. Największą prędkość $v_1$, będą oczywiście, posiadać elektrony, wyrzucane z warstwy najbardziej zewnętrznej, prostopadle do powierzchni naświetlanej. Stała $p$ we wzorze (3) oznacza pracę, niezbędną na wyzwolenie elektronu z danego metalu. Pisząc wzór w postaci

$$h\nu = \frac{1}{2} m v^2_1 + p,$$

widzimy, iż wyraża on tylko zasadę przemiany energji kwantu na pracę i na energję kinetyczną najszybszych elektronów.

Jak zobaczymy niżej, prawo to zostało stwierdzone przez Millikan'a z b. dużym stopniem dokładności. Wydaję się więc rzeczą konieczną wprowadzić kwanty do interpertacji zjawiska. Założywszy jednak, że energja promienista przechodzi kwantowo w energję elektronów, będziemy musieli zerwać z poglądem, iż ta energja jest w sposób ciągły rozmieszczona w przestrzeni, że każdy element powierzchni falowej kulistej w ośrodku izotropowym niesie jedną i tę samą ilość energji.

Prosty przykład liczbowy wyjaśni najlepiej sprawę. Świeca normalna, ustawiona w odległości 3 metrów od czułej komórki fotoelektrycznej, powoduje momentalnie emisję elektronów. Łatwo obliczyć energję świetlną, która pada w tych warunkach na 1 cm.$^2$ powierzchni. Wiadomo, że na 1 cm.$^2$ powierzchni, umieszczonej prostopadle do promieni w odległości 1 metra, świeca normalna rzuca 8.1 erga świa-

---

[1]) Millikan i Whinchester dowiedli, że energja elektronów wysyłanych przez metal naświetlony jest niezależna od temperatury. Wynika stąd, że elektrony nie biorą udziału w ruchach termicznych.

tła w ciągu jednej sekundy. W odległości 3 metrów na 1 $cm.^2$ i sekundę przypada więc w każdym razie mniej, niż 1 erg. Ponieważ elektrony znajdują się w atomach, trzeba obliczyć energję, przypadającą w ciągu sekundy na 1 atom. Pole przekroju pojedyńczego atomu jest rzędu $10^{-15}$ $cm.^2$; tak więc atom w ciągu sekundy otrzymuje ilość energji rzędu $10^{-15}$ erga. Kwant energji światła zielonego jest bez porównania większy; $h = 6.55 \times 10^{-27}$, $\nu$ w założeniu światła zielonego $(\lambda = 5000\,A) = \dfrac{3 \times 10^{10}}{5000 \times 10^{-8}} = 6 \times 10^{14}$, kwant zatem

$$h\nu = 4 \times 10^{-12} \text{ erga,}$$

w liczbie okrągłej.

Tak więc fale świetlne świecy normalnej dopiero po 4000 sekund mogłyby dostarczyć atomowi 1 kwant energji. Jeżeli jednak zwrócimy uwagę na to, że komórka fotoelektryczna jest wrażliwa tylko na bardziej łamliwą część widma, na którą przypada co najwyżej $^1/_3$ część energji wypromieniowanej przez świecę, to okaże się, iż atom na sekundę otrzymuje tylko $\frac{1}{3} \times 10^{-15}$ erga energji skutecznej i że trzebaby czekać 12000 sekund, t. j. przeszło trzy godziny, aby się w atomie nagromadziła ilość energji, odpowiadająca jednemu kwantowi; tymczasem doświadczenie uczy, iż emisja elektronów zachodzi natychmiast. Aby usunąć sprzeczność, musimy założyć, że rozmieszczenie energji na powierzchni falowej nie jest ciągłe; kwanty muszą być skupione w pewnych punktach powierzchni. W ten sposób można zrozumieć kwantowe przekazywanie energji elektronów.

## IV. Eksperymentalna strona badań nad zjawiskiem fotoelektrycznem.

Ocenić krytycznie wartość praw zasadniczych, dotyczących zjawiska fotoelektrycznego, można dopiero, zapoznawszy się choć w ogólnym zarysie z metodami eksperymentalnemi, które doprowadziły do wyżej podanych wyników. Zauważymy, że zjawiska, z któremi się ma tutaj do czynienia, są nader subtelne, i że mnóstwo drobnych okoliczności ubocznych może wpłynąć na całkowite zaciemnienie obrazu.

Wystarczy powiedzieć, że tak genjalny eksperymentator, jak Lenard, w kwestji prawa III-go (str. 342) otrzymał wyniki niezgodne z danemi, osiągniętemi później przez Millikan'a. W swej pracy

z roku 1902 [1]) pisze on, że eksperyment nie wykazuje istnienia prędkości maksymalnej elektronów. Tę samą tezę podtrzymywał zresztą znacznie później uczeń L e n a r d a, R a m s a u e r.

Przechodzimy do omówienia metod doświadczalnych, które były stosowane dla ustalenia praw podanych na str. 342. Aby stwierdzić prawo proporcjonalności prądu fotoelektrycznego do wyzwalającej go energji promienistej oświetlał L e n a r d wyczernioną katodę aluminjową światłem iskry pomiędzy kulkami cynkowemi. Katoda była umieszczona w rurce próżniowej, zaopatrzonej w okienko kwarcowe, które przepuszczało, prócz promieni widzialnych, również i promienie nadfiołkowe iskry. Natężenie światła regulowano, zmieniając odległość źródła od katody; odpowiedni prąd mierzono zapomocą elektrometru. Natężenie światła zmieniało się w stosunku 90 do 1; w tym samym stosunku, w granicach błędów obserwacji, wahała się ilość elektronów wyrzucanych.

Prawo drugie, — iż prędkość, której nabierają elektrony wychodzące z katody, nie zależy od natężenia światła, otrzymane zostało pośrednio, przez porównanie krzywych, charakteryzujących rozdział prędkości pomiędzy elektronami. Nie będziemy się zatrzymywali szczegółowiej na metodzie L e n a r d a, gdyż zasadę otrzymywania krzywych analogicznego typu omówimy niebawem, opisując badania M i l l i k a n'a, podkreślimy tylko, że niezależność prędkości elektronów od natężenia światła została przez L e n a r d a stwierdzona w bardzo rozległych granicach: przy użyciu elektrody wyczernionej zmienił on natężenie światła w stosunku 1 do 70, w przypadku płytki aluminjowej — w stosunku 1 do 1000.

Przechodząc do prawa III-go, przypominamy raz jeszcze jego istotną treść. Sprowadza się ono do wzoru Einsteina

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = h\nu - p$$

gdzie lewa część oznacza energję kinetyczną elektronu; $h\nu$ jest kwantem energji, przyczem $h$ oznacza stałą Planck'a, a $\nu$ — częstość drgań; $p$ jest to praca niezbędna na wyzwolenie elektronu z powierzchni metalowej.

Prędkość elektronów, posiadających ładunek $e$, mierzy się pośrednio. Nadaje się mianowicie płytce pewien rosnący potencjał dodatni; przy odpowiednio wysokim potencjale $V$ przyciąganie elektro-

[1]) Lenard. Ueber die lichtelektrische Wirkung, Ann. d. Phys. 1902, t. 8 na str. 165.

statyczne nie pozwala elektronowi opuścić powierzchni metalowej. Wówczas

$$Ve = \frac{1}{2} mv^2 = h\nu - p.$$

We wzorze tym mamy dwie zmienne: $V$, potencjał hamujący wybieganie elektronów, i $\nu$ — częstoś ćdrgań światła padającego. Widzimy, że według prawa Einsteina winien między niemi istnieć związek linjowy; widzimy dalej, że pochodna

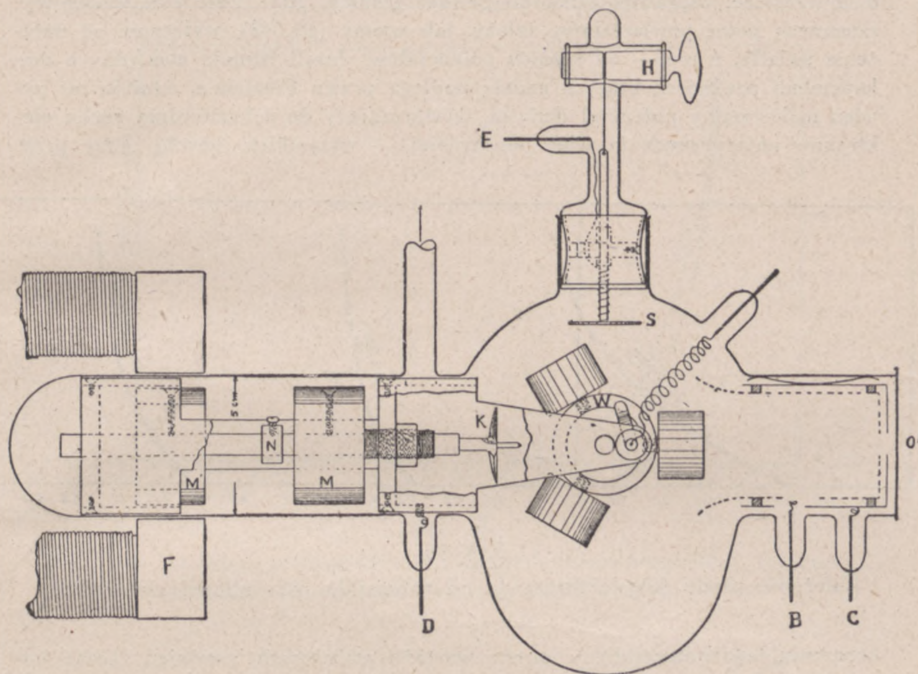
$$\frac{dV}{d\nu} = \frac{h}{e}$$

Tym sposobem, gdyby doświadczenie potwierdziło prawo powyższe, styczna kąta nachylenia byłaby równa stosunkowi $h/e$, dawałaby więc możność znalezienia stałej Planck'a na mocy zjawiska fotoelektrycznego.

Zwrócimy jeszcze uwagę na pewną okoliczność zasadniczą. Jakeśmy już wyżej zaznaczyli (str. 343), nie można oczekiwać, by wszystkie elektrony posiadały tę samą prędkość; — przeważna część elektronów pochodzi z warstw głębszych, tracą one po drodze swą energję w zderzeniach z atomami. Wzór podany powyżej dotyczy tylko elektronów posiadających prędkość maksymalną. Gdyby nie było elektronów o prędkości maksymalnej, stosowanie prawa Einsteina byłoby pozbawione sensu. Tę kwestję przedewszystkiem należało zbadać. Otrzymawszy na pytanie zasadnicze odpowiedź twierdzącą, Millikan zwrócił uwagę na to, że istnienia związku linjowego pomiędzy $V$ i $\nu$ można ściśle dowieść, jedynie wtedy, gdy się zmienia $\nu$ w dość szerokich granicach, gdyż na bardzo małym odcinku wszelka krzywa eksperymentalna może pozornie uchodzić za prostą. Należało więc użyć metali wrażliwych na światło w nader szerokich granicach widma. Od czasów Elstera i Geitla wiadomo było, że taką własność posiadają tylko metale alkaliczne: sód, lit, potas.

Efekt fotoelektryczny jest jednak zjawiskiem kapryśnem, najmniejsze zanieczyszczenie swobodnej powierzchni modyfikuje jego przebieg; wiadomo zaś powszechnie, jak łatwo ulega utlenieniu swobodna powierzchnia metali alkalicznych. Zważywszy te okoliczności, zmuszony był Millikan wykonać swe badania w próżni jak najdalej posuniętej; w tej próżni umieszczony był też mechanizm, pozwalający w odpowiednim momencie zeskrobywać nożem zużytą powierzchnię metalu alkalicznego. Jak powiada żartobliwie Millikan, był to cały warsztat w próżni.

Rurę próżniową M i l l i k a n'a [1]) widzimy przedstawioną schematycznie w przecięciu na rys. 79. Część środkową rury zajmuje koło *W*, na którego obwodzie są zamocowane trzy cylindry odlane z metalu alkalicznego. Zapomocą mechanizmu elektromagnetycznego, który nie został uwidoczniony na rysunku, można było skierować ku okienku *O* powierzchnię któregokolwiek z tych trzech cylindrów. Od koła *W* do elektrody przeprowadzona jest sprężynka, którą mo-



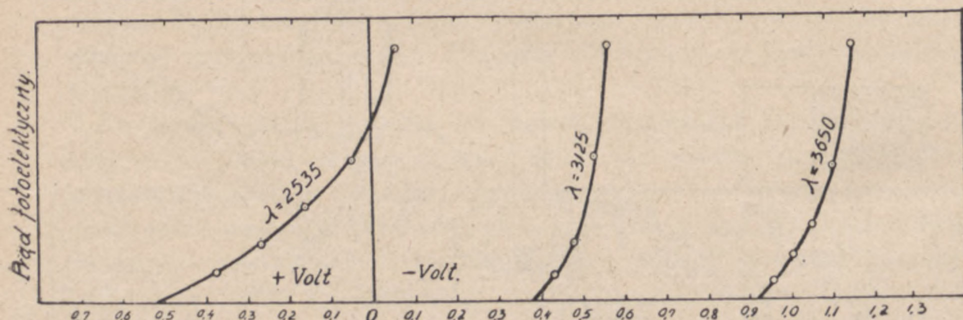

Rys. 79.
Przyrząd M i l l i k a n'a do obserwowania zjawiska fotoelektrycznego.

żna było łączyć ze źródłem elektryczności określonego napięcia. Nóż *K*, posiadający własny mechanizm, mógł być wprawiany w ruch zzewnątrz zapomocą specjalnego elektromagnesu (*F* na rysunku); służył on do oczyszczania powierzchni badanego metalu. Naprzeciw powierzchni metalicznej, naświetlanej poprzez okienko *O*, znajdowało się wiaderko Faraday'a o podwójnych ścianach; elektrody *B* i *C* pozwalały łączyć ścianki wiaderka z elektrometrem. Elektroda S służyła do mierzenia kontaktowej różnicy potencjałów, nie będziemy się tu jednak zatrzymywali na tej czynności.

Przebieg doświadczenia w zasadzie był nader prosty. Czystą powierzchnię metalu alkalicznego naświetlano przez okienko kwarcowe *O* promieniami określonej długości fali (monochromator Hilgera, który służył do oddzielania pro-

[1]) Czytelnik, którego interesuje tylko zasada pomiaru, może tekst wydrukowany petitem pominąć bez uszczerbku dla zrozumienia całości.

mieni o różnem λ, nie jest pokazany na rysunku). Elektrony, wyrzucane przez metal, zbiera wiaderko Faraday'a; połączony z niem elektrometr daje wielkość prądu fotoelektrycznego. Natężenie prądu fotoelektrycznego zależy od potencjału jaki nadamy metalowi. Przy bardzo dużym potencjale *dodatnim* żaden fotoelektron nie opuści powierzchni metalicznej; przy potencjale ujemnym elektrony wskutek odpychania będą nabierać przyspieszeń, prąd elektronów będzie wzrastać, coprawda tylko do pewnej granicy, gdyż ilość elektronów wyrzucanych przez powierzchnię, zależy, jak wiemy (str.342), wyłącznie od natężenia światła, a nie — od różnicy potencjałów. Jeżeli istnieją elektrony o maksymalnej prędkości, których emisja podlega prawu Einstein'a, istnieje też pewien maksymalny potencjał dodatni, wystarczający do zahamowania ruchu elektronów najszybszych (a więc tembardziej — wszystkich innych) Przy prze-




Rys. 80.

Zależność prądu fotoelektrycznego od potencjału naświetlanej elektrody.

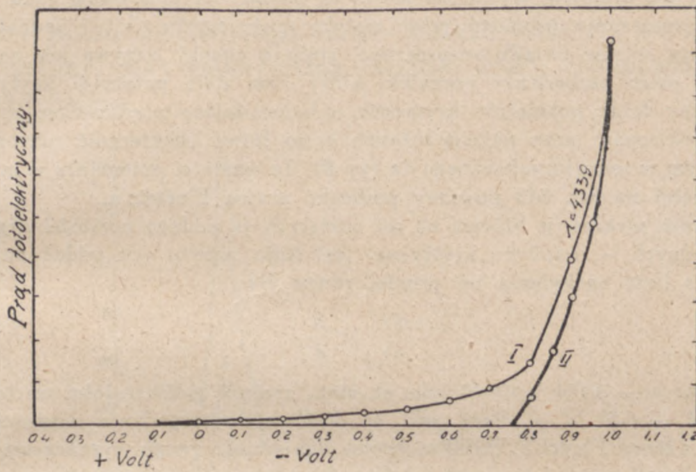
kroczeniu tego potencjału, w stronę wartości *malejących*, powinien zacząć powstawać prąd fotoelektryczny.

Rzut oka na rys. 80, wzięty z pracy Millikan'a, przekonywa nas, że te przewidywania znajdują potwierdzenie w doświadczeniu. Na osi odciętych wykresu mamy potencjał elektrody naświetlanej, wyrażony w woltach. Od lewej ręki do prawej mamy na osi odciętych rosnący (pod względem wartości bezwzględnej) woltaż ujemny; wolty *dodatnie* rosną od prawej ręki ku lewej. Na osi rzędnych mamy natężenie prądu, wyrażone w jednostkach dowolnych. Obok krzywej podana jest długość fali światła pobudzającego. Zwróćmy uwagę na jedną z krzywych, np. na trzecią z rzędu, odpowiadającą nadfiołkowej linji $\lambda = 3650$ *A*. Widzimy, że w miarę zwiększania wartości bezwzględnej potencjału ujemnego krzywa ta rośnie szybko, dalej, — że przy powiększaniu algebraicznem potencjału (a więc od prawej ku lewej) urywa się ona raptownie. Stwierdzimy więc, że istnieje potencjał nieprzekraczalny, powyżej którego niema prądu fotoelektrycznego. Istnieje zatem prędkość maksymalna elektronów.

Może się wydać dziwnem, że potencjał, odpowiadający prędkości maksymalnej, nazwijmy go krytycznym, przypada dla wartości ujemnych woltażu elektrody naświetlanej. Wynika to stąd, że pomiędzy elektrodą, a metalem wiaderka Faraday'a istnieje dodatkowa, kontaktowa różnica potencjałów (przy-

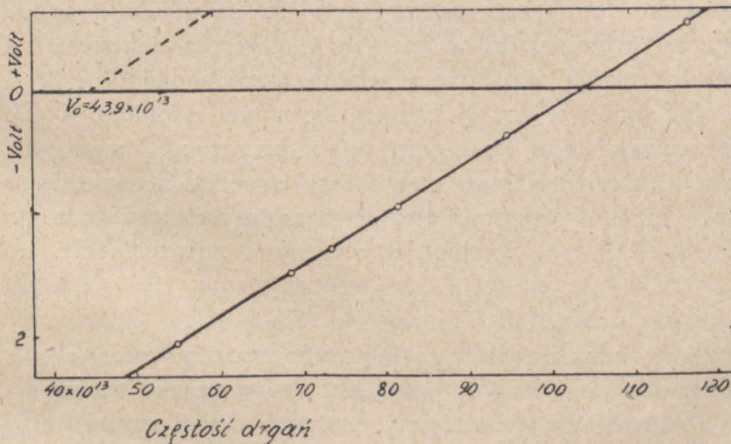
czem metal alkaliczny posiada potencjał dodatni rzędu klku wolt). Wskutek tego krzywe należałoby przesunąć wlewo, ku potencjałom dodatnim.

Ważnem, a eksperymentalnie nader trudnem do rozstrzygnięcia, pytaniem jest to, czy krzywe, w rodzaju rozpatrywanej powyżej, zaczynają się raptownie, tworząc z osią odciętych zupełnie określony, skończony kąt czy też przebiegają stopniowo, łagodnie zbliżając się do osi, „wytwarzając ogonek" według terminologji amerykanów. Te dwie alternatywy zostały pokazane na rys. 81.




Rys. 81.

Dwa typy krzywych, otrzymanych w badaniach fotoelektrycznych. Krzywa II odpowiada naświetleniu światłem ściśle jednobarwnem.




Rys. 82.

Wykres, potwierdzający prawo kwantowe E i n s t e i n a w dziedzinie fotoelektryczności.

Krzywa II zaczyna się raptownie, krzywa I łagodnie opada ku osi odciętych. Gdyby przebieg krzywych odpowiadał typowi I, nie możnaby mówić o istnieniu potencjału krytycznego i prędkości maksymalnej; interpretacja kwantowa zjawiska fotoelektrycznego musiałaby upaść.

Millikan istotnie otrzymał część krzywych z ogonkami, według typu I. Udało mu się jednak dowieść, że krzywe tego typu powstają, gdy promienie naświetlające są niejednorodne, gdy zawierają mianowicie chociażby najmniejszą domieszkę fal krótkich; wystarcza nawet ta nieznaczna domieszka, jaka powstaje przy rozpraszaniu promieni przez optykę spektrografu. Jeżeli jednak usunąć zapomocą filtrów światło rozproszone, znikają ogonki, krzywa ma na osi odciętych ostro zaznaczony początek, który nam daje potencjał krytyczny. Zestawmy teraz potencjały krytyczne, odpowiadające prędkościom maksymalnym elektronów, przy użyciu różnych $\lambda$, co łatwo uskutecznić rozporządzając wykresem w rodzaju pokazanego na rys. 81. Te wartości potencjału w myśl teorji rozwiniętej na str. 343 powinny podlegać prawu Einstein'a.

Istotnie, wykres, w którym na osi odciętych są podane częstości drgań, a na osi rzędnych — napięcia krytyczne, jest linją prostą, jak widać na rys. 82. Tangens kąta nachylenia tej prostej równa się

$$\frac{dV}{d\nu} = \frac{h}{e}.$$

Biorąc $e = 4.774 \times 10^{-10}$ jedn. el. stat., znalazł Millikan jako wartość przeciętną $h = 6.57 . \times 10^{-27}$erg. sek., co doskonale się zgadza z wartością, wynikającą z teorji Planck'a. Millikan ocenia dokładność swego wyznaczenia na $^1/_2$%. Gdyby nawet uważać tę ocenę za zbyt optymistyczną, to i tak, przyznać trzeba, zgodność liczbowa jest zadziwiającem potwierdzeniem idej kwantowych.

## C. Kres widma ciągłego promieni Röntgenowskich.

W zjawisku fotoelektrycznem mamy do czynienia z przechodzeniem energji promienistej w energję kinetyczną elektronów. Doskonale jest też znane zjawisko odwrotne: przechodzenie energji kinetycznej elektronów w energję fal elektrycznych promieni *X*. Zjawisko to, w przeciwieństwie do efektu fotoelektrycznego, wymaga naogół nader wielkich potencjałów; wobec tego wszelkie kontaktowe różnice potencjału mogą być pominięte, co znakomicie upraszcza pomiary. Wzór E i n s t e i n a występuje w postaci najprostszej:

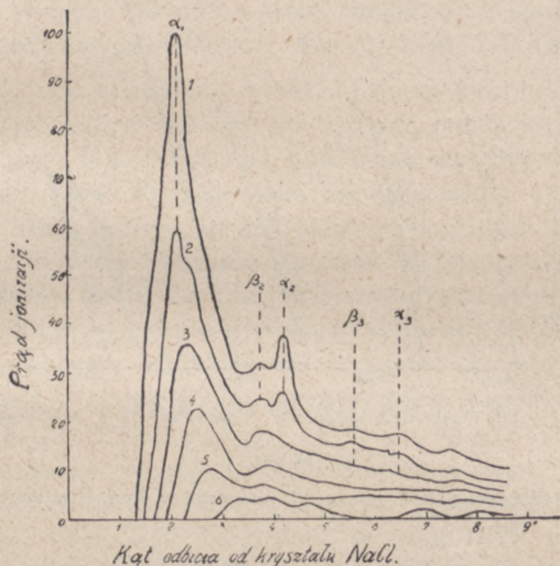
$$Ve = \tfrac{1}{2} mv^2 = h\nu.$$

Nie należy jednak sądzić, że ten wzór kwantowy może być stosowany do wszelkich wogóle zjawisk, dotyczących wysyłania promieni *X*. Okazało się, że dotyczy on tylko części emisji, mianowicie kresu widma ciągłego Röntgenowskiego od strony fal krótkich. Chodzi o to, że emisja rury Röntgenowskiej składa się z widma ciągłego, tła niejako; na tle tego widma ciągłego zarysowują się linje charakte-

rystyczne, wysyłane przez metal antykatody. Widmo ciągłe po stronie fal krótkich, a więc — dużych wartości $\nu$, urywa się raptownie. Do tej właśnie granicznej częstości drgań można stosować wyżej napisany wzór; według niego

$$h = \frac{e \cdot V}{\nu}.$$

Widzimy zatem, że będziemy mogli znaleźć stałą P l a n c k'a $h$, jeżeli określimy, jaka maksymalną częstość drgań $\nu$ odpowiada danemu potencjałowi.

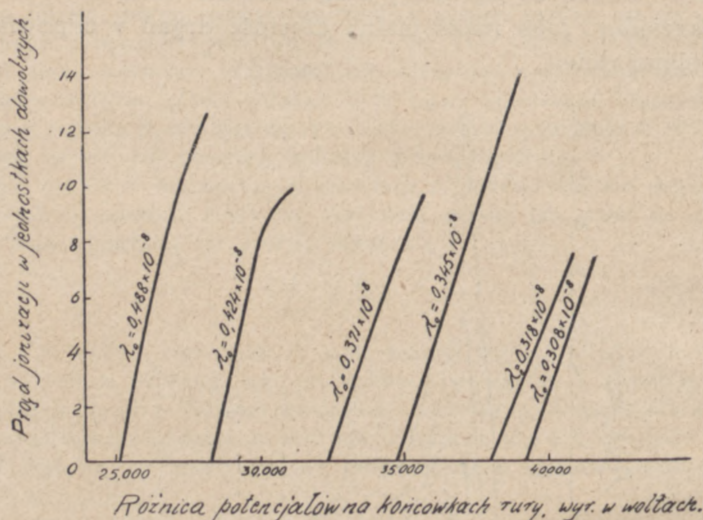



Rys. 83.

Rozkład energji w widmach Röntgenowskich. Każda z krzywych odpowiada określonemu potencjałowi. Po lewej ręce krzywe urywają się raptownie; mamy tu „kres widma".

Interpretacja jest nader prosta. Na materjał antykatody pada wiązka promieni katodowych określonej prędkości. Energja kinetyczna elektronów w pewnych wyjątkowych razach może przejść całkowicie w kwant energji promienistej i wówczas otrzymujemy $\nu$ maksymalne, odpowiadające kresowi widma ciągłego; naogół jednak część energji elektronu rozprasza się przy zderzeniach z atomami; w przemianie na energję promienistą otrzymamy wskutek tego kwanty o mniejszem $\nu$, a więc o większej długości fali.

Amerykanin W i l l i a m D u a n e pierwszy dostrzegł związek pomiędzy kresem widma ciągłego a wzorem E i n s t e i n a. Z początku obliczenia dały tylko zgodność co do rzędu wielkości $h$. Pracując w roku 1915 z F. L. H u n t'em [1]), otrzymał D u a n e po raz pierwszy dokładną wartość $h$. W pracy tej wskazał zarazem Duane dwie zasadnicze metody, jakie można stosować przy wyznaczaniu $\nu$ maksymalnego, t. j. częstości drgań kresu widma ciągłego. Postę-




Rys. 84.
Krzywe izochromatyczne (stałe $\lambda$) ciągłego widma Röntgenowskiego

puje się w sposób następujący: 1) bądź bada się rozkład energji w widmie ciągłem, posługując się metodą jonizacyjną (ob. rozdział o spektroskopji promieni X), 2) bądź też ustawia się odbiornik spektrometru (komorę jonizacyjną) na odbiór pewnej długości fali; powiększając stopniowo napięcie na końcówkach rury Röntgenowskiej, dostrzega się, że przy pewnem napięciu nagle pojawia się dana długość fali, a natężenie jej szybko rośnie, gdy wzrasta różnica potencjału. Rysunki 83 i 84 dobrze ilustrują przebieg zjawiska. Na rysunku 83 mamy szereg krzywych, które dają natężenie energji w widmie ciągłem Röntgenowskiem. Litery $\alpha$, $\beta$ wskazują miejsca linij charakterystycznych. Na osi odciętych podane są kąty

[1]) W. Duane i F. L. Hunt. On X-ray wave-lengths. Physical Review, r. 1915, t. 6, s. 166.

ustawienia spektrometru. Wraz z kątem rośnie długość fali; krótkie fale i częstości drgań maksymalne mamy zatem po lewej ręce. Na osi rzędnych podana jest wielkość prądu jonizacyjnego, jako miara energji. Kolejne krzywe wznoszą się coraz wyżej, obejmując jedna drugą. Odpowiadają one rosnącym potencjałom. Po lewej stronie krzywe te urywają się raptownie, spadając stromo; punkty przecięcia z osią odciętych dają kres widma ciągłego, odpowiadający określonemu potencjałowi. Czytelnik zechce zwrócić uwagę na to, iż analogiczne krzywe otrzymuje się w badaniu promieniowania temperaturowego ciał [1]. Mamy wówczas temperaturę zamiast potencjału. Na rysunku 84 widzimy krzywe, które moglibyśmy nazwać izochromatycznemi (od chroma — barwa). Aby otrzymać którąkolwiek z nich, np. środkową, odpowiadającą $\lambda = 0.371\ \mathring{A}$, ustawia się spektrometr pod określonym kątem tak, by do komory jonizacyjnej dostawała się dana długość fali. Następnie powiększa się stopniowo napięcie na końcówkach rury. Przy pewnem napięciu nagle występuje silna jonizacja; to znak, że kres widma ciągłego dosięgnął danej długości fali. Przy dalszem powiększaniu napięcia krzywa natężenia szybko rośnie. Ze strony doświadczalnej najważniejszem jest stwierdzenie, iż krzywe w obu przypadkach posiadają raptowny spadek; gdyby opadały zwolna, łagodnie, zbliżając się stopniowo do osi odciętych, nie możnaby mówić o kresie widma; niewiadomem byłoby też, jak stosować wzór Einsteina.

Metody pomiarów wydoskonalili stopniowo w Ameryce Duane i jego współpracownicy. Blake i Duane [1]) otrzymali w roku 1917 na $h$ wartość $6.555 \times 10^{-27}$erg. sek., w roku 1921, po osiągnięciu większej precyzji znaleźli Duane, Palmer i Chi-Sun Yeh [2]), iż

$$h = (6.556 \pm 0.009) \times 10^{-27} \text{ erg. sek.}$$

W Niemczech tem samem zagadnieniem zajmował się E. Wagner [1]). Różnica pomiędzy jego pomiarami a precyzyjnemi pomiarami Duane'a polegała głównie na wielkości potencjałów. Wagner nie przekroczył naogół 10000 Volt. Po części dlatego, że nie posiadał ba-

---

[1]) Ob. np. Natanson i Zakrzewski, Nauka fizyki t. II, str. 358 i 359.

[1]) F. C. Blake i W. Duane. The valne of „$h$" as determined by means of $X$-rays. Physical Review, r. 1917, t. 10, s. 624.

[2]) W. Duane, H H. Palmer i Chi-Sun-Yeh. A remeasurement of the radiation constant by means of $X$-rays. Physical Review, 1921, t. 18, s. 98.

terji akumulatorów o większem napięciu (Amerykanie posiadali 20000 akumulatorów), głównie zaś dlatego, że niezbyt wysokie potencjały można łatwiej dokładnie zmierzyć; niższym potencjałom odpowiadają też w emisji większe długości fali, które również dają w pomiarach mniejszy błąd procentowy.

W wyniku swych gruntownych badań podaje Wagner

$$h = (6.53 \pm 0.01) \times 10^{-27} \text{ erg. sek.}$$

Niezgodność pomiędzy tą wartością a poprzednią przewyższa błędy spostrzeżeń, które obaj badacze uważają za możliwe. Wydaje się najprawdopodobniejszem, że obydwaj przeceniają precyzję swych pomiarów. W każdym razie różnica wartości znalezionych nie przewyższa $^1/_2{}^0/_0$.

Podkreślimy, że badania wykazały, iż otrzymywana wartość $h$ nie zależy ani od materjałów antykatody i rodzaju rury, ani od różnicy potencjałów, ani też od kąta, jaki tworzy wiązka promieni $X$ z pierwotną wiązką promieni katodowych; wynika stąd, że $h$ istotnie jest stałą powszechną.

Rys. 85 (str. 355), być może, da czytelnikowi bardziej konkretne wyobrażenie o doświadczeniach, dotyczących kresu widma ciągłego. Po lewej stronie rysunku widzimy antykatodę $T$; po stronie prawej, poza murem, ustawiony jest spektrometr do badania promieni $X$; promienie, po odbiciu od kryształu, wpadają do komory jonizacyjnej, połączonej z elektrometrem kwadrantowym.

## Zjawisko Compton'a i zjawisko Raman'a.

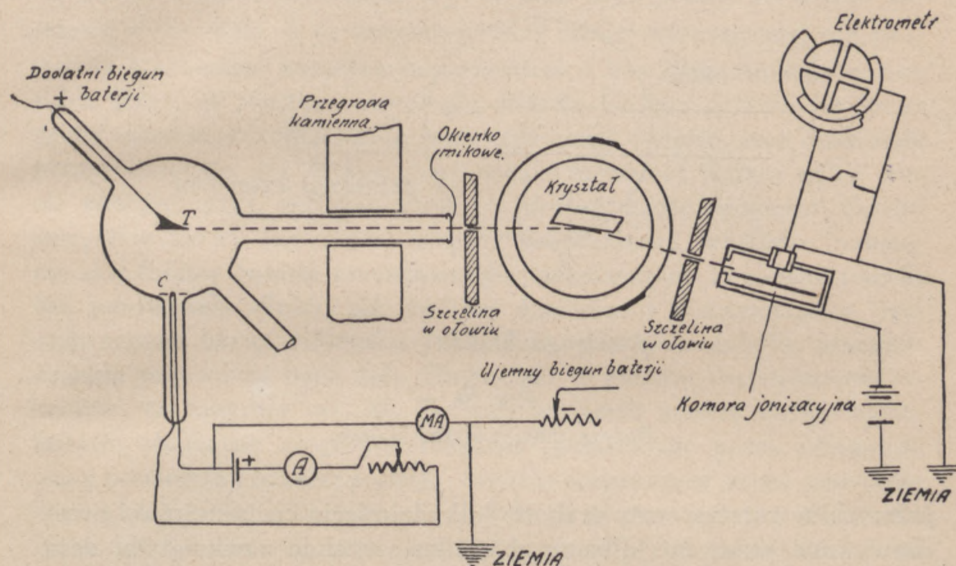
W badaniach nad zjawiskiem fotoelektrycznem napotkaliśmy fakt nieoczekiwany: promienie elektromagnetyczne krótkiej fali, np. nadfiołkowe, wyzwalają z metali zawsze elektrony o dużej prędkości, a więc i o znacznej energji kinetycznej, choćby nawet wiązka promieniowania posiadała niezmiernie nikłe natężenie, t. j. dostarczała znikomą ilość energji w ciągu sekundy. Wyjaśniliśmy ten paradoks, zakładając, że energja promieniowania nie jest równomiernie rozlana po całej powierzchni falowej, lecz — skupia się w pewnych punktach, tworząc jakby plamki na powierzchni falowej. Te skupienia kwan-

---

[1]) E. Wagner. Spektraluntersuchungen an Röntgenstrahlen. Annalen d. Physik, r. 1918, t. 57, s. 401; ob. również uzupełnienie tej pracy w Physik. Zeitschrift z roku 1920.

towe albo fotony, moglibyśmy sobie jednak wyobrażać w postaci jakby nitek, igiełek promieniowania, utworów o b. małym przekroju lecz o pewnej rozciągłości linjowej. Badania nad zjawiskiem, odkrytem przez A. H. Compton'a w roku 1923 nasuwają inne wyobrażenie: w zjawisku tem ujawnia się, że kwant jest skupiony w sobie, posiada charakter punktowy.

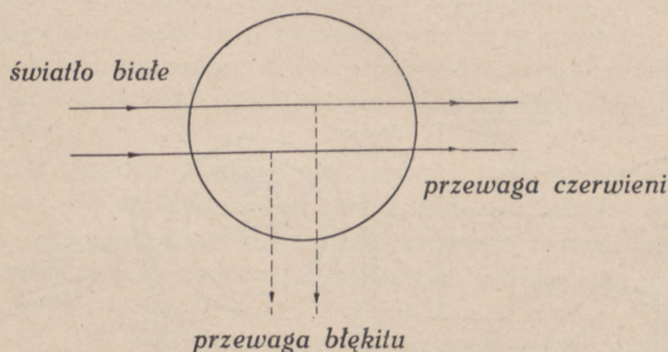
Aby zrozumieć zjawisko Compton'a i pokrewne mu zjawisko Raman'a należy przedewszystkiem zwrócić uwagę na rozpraszanie




Rys. 85.
Aparatura do badania rozkładu energji w ciągłem widmie Röntgenowskiem.

energji promienistej przez materję, które w przypadku światła zazwyczaj uchodzi naszej uwagi, gdy mamy do czynienia z ośrodkiem zupełnie jednorodnym. Natomiast rozpraszanie światła przez ośrodki mętne jest każdemu dobrze znane z przygodnych obserwacyj. Kiedy promienie słoneczne wdzierają się przez otwory do mrocznego pokoju, kiedy przez zaciemnioną salę kinematografu biegnie snop promieni lampy łukowej, wychodzący z okienka operatora, obserwator stojący zboku widzi te promienie dzięki pyłowi, w jaki zawsze obfitują dolne warstwy atmosfery. Stojąc zbliska, dostrzega się nawet pojedyńcze płytki w obrębie pęku promieni. W miarę zmniejszenia liczby pyłków, zawieszonych w ośrodku, rozpraszanie słabnie. Na schyłku

ubiegłego stulecia był rozpowszechniony pogląd, że ciała doskonale jednorodne, jak gazy lub ciecze absolutnie wolne od zawiesin, kryształy przezroczyste, idealnie sformowane, nie rozpraszają promieni świetlnych. Mówiono o takich ciałach, że są „optycznie puste". Dopiero stosunkowo niedawno [1]) zostało doświadczalnie stwierdzone, że niema ciał, któreby wcale światła nie rozpraszały; że woda najstaranniej, wielokrotnie dystylowana w próżni w naczyniach z metali szlachetnych, że czysty jak łza kryształ górski, powietrze, filtrowane




Rys. 86.
Rozpraszanie światła białego.

przez zbitą warstwę waty grubości kilkudziesięciu centymetrów i przechowywane przez lat kilka w zbiorniku szczelnie zamkniętym, dają zawsze wiązki światła rozproszonego, naogół jednak b. słabe. Nikłość zjawiska tłumaczy błąd dawnych eksperymentatorów, między którymi byli ludzie wielkiego talentu, jak John Tyndall, R. W. Wood. Nie zwracali oni uwagi na to, że ścianki zbiornika lub ściany naturalne kryształu również zawsze powodują powstawanie promieni rozproszonych, i że w tym blasku ścianek ginie mdłe światło, rozpraszane przez substancję jednorodną; zupełnie podobny fakt dostrzegamy stale w wielkich miastach: w blasku jaskrawego oświetlenia ulicznego nie jesteśmy w stanie obserwować światła drogi mlecznej i słabych gwiazd. Rys. 86 przedstawia rozpraszanie światła przez ciecz zawartą w kolbie. Promienie rozproszone, narysowane linjami przery-

---

[1]) W roku 1915 dowiódł J. Cabannes, że gazy wolne od pyłów rozpraszają światło. Niezależnie zupełnie, nie wiedząc o pracy francuskiego fizyka, dowiódł również tego faktu o rok później M. Smoluchowski w Krakowie.

wanemi, tworzą na rysunku kąt prosty z promieniami padającemi. Światło rozprasza się we wszystkich kierunkach; w eksperymentach najczęściej obserwuje się kątem prostym, gdyż wtedy najłatwiej wyeliminować promienie rozpraszane przez ścianki naczynia.

Światło barw różnych jest niejednakowo rozpraszane przez molekuły ośrodka jednorodnego. L o r d R a y l e i g h teoretycznie ustalił prawo, potwierdzone przez doświadczenie, według którego natężenie światła rozpraszanego jest *odwrotnie proporcjonalne do czwartej potęgi długości fali świetlnej.* W myśl tego prawa promienie fioletowe o $\lambda = 4000$ Å są szesnaście razy silniej rozpraszane, niż promienie stanowiące początek podczerwieni o $\lambda = 8000$ Å. Wyobraźmy sobie teraz, że wiązka równoległa światła białego przechodzi przez grubą warstwę ośrodka silnie rozpraszającego światło, lecz doskonale przezroczystego. Na drodze swej wiązka promieni będzie wciąż tracić energję, gdyż ośrodek stale rozprasza część promieni. Gdyby wszystkie barwy jednakowo ulegały rozpraszaniu, względne natężenie składników światła pozostawałoby niezmiennem. Ponieważ jednak bez porównania silniej, niż światło czerwone i pomarańczowe, jest rozpraszana barwa fioletowa i błękitna, przeto w świetle przechodzącem przeważać będą fale długie, zaś w świetle rozproszonem — krótkie, co ilustruje rys. 86. To nam wyjaśnia genezę barwy nieba. Światło słoneczne ulega rozpraszaniu przechodząc przez olbrzymie masy powietrza atmosferycznego. Światło rozpraszane przez powietrze daje błękit nieba. Umacnia nas w tem przekonaniu fakt, że światło nieba, jak i światło rozproszone, jest zawsze, przynajmniej częściowo spolaryzowane. Gdy o zachodzie lub wschodzie patrzymy na tarczę słońca, widzimy ją w barwie czerwonej; światło słońca przechodzi bowiem wówczas przez grubą warstwę powietrza i, tracąc po drodze składniki krótkofalowe, dochodzi do oka, posiadając przewagę fal długich. Weźmy dużą kolbę, napełnioną nader rozcieńczonem mlekiem, a, rzucając na nią w ciemnym pokoju silny snop promieni latarni projekcyjnej, będziemy mogli doświadczalnie stwierdzić nadmiar błękitu w świetle rozproszonem i przewagę czerwieni w świetle przechodzącem.

Prawo R a y l e i g h'a zależności natężenia światła rozpraszanego od długości fali ilustrują rys. 87, 88, 89 na stronicach 358, 359. Ten sam widok został sfotografowany trzy razy, przy użyciu filtrów świetlnych i klisz specjalnie uczulonych. Na pierwszej fotografji



Rys. 87.

Zapomocą filtrów świetlnych i klisz specjalnych ten sam krajobraz został zdjęty przy użyciu promieni nadfiołkowych (rys. 87), widzialnych (rys. 88) i podczerwonych (rys. 89). Na drugim planie w odległości 13 km. pasmo górskie. (Reprodukcja zdjęć E. v. Angerera, Naturwissenschaften, 1930).



Rys. 88.



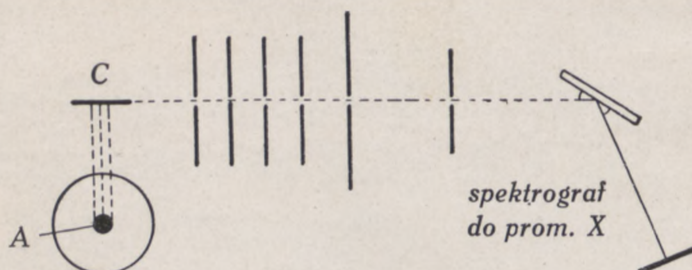
Rys. 89.
Zdjęcie dokonane zapomocą promieni podczerwonych (p. str. 358).

(s. 358) stosowano promienie ultrafioletowe, na drugiej (s. 358)—widzialne, na trzeciej (s. 359)—podczerwone. Dalekie pasmo gór, zupełnie niewidoczne na zdjęciu pierwszem, zaczyna się zarysowywać na drugiem i zupełnie wyraźnie występuje na trzeciem. Przyczyna jest jasna: krótkie fale ultrafioletowe, przechodząc przez warstwę powietrza grubości kilkunastu klometrów, po drodze całkowicie uległy rozpraszaniu i nie doszły wcale do objektywu aparatu fotograficznego; fale świetlne uległy znacznemu osłabieniu, a długie fale podczerwone przeszły niemal nieosłabione. Niebo nie wysyła prawie zupełnie promieni podczerwonych; wydaje się też ciemnem na rys. 89. Zieleń liści i traw wysyła natomiast bardzo obficie promienie długich fal.

W znaczniejszym jeszcze stopniu, niż promienie ultrafioletowe, są rozpraszane promienie Röntgenowskie, których $\lambda$, jak dziś dobrze wiadomo, jest tysiące razy mniejsza od długości fal świetlnych.

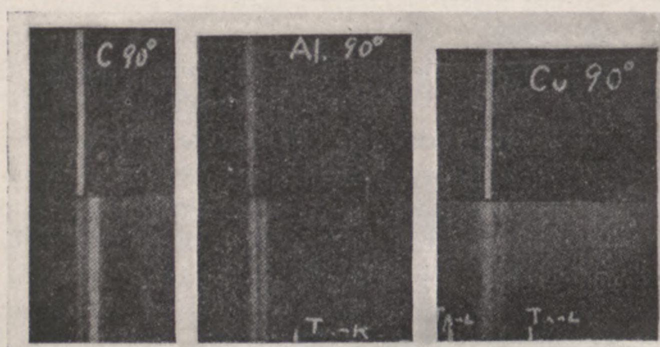
Teorja rozpraszania energji promienistej przez materję, opierająca się na koncepcji falowej, przewiduje, że światło rozpraszane powinno się składać z tych samych ściśle rodzajów promieniowania, co i światło padające. Tak więc rzucając snop promieni fioletowych o $\lambda = 4047$, powinniśmy mieć w świetle rozproszonem tę i tylko tę

długość fali. Prawo to było wielokrotnie sprawdzane. Jeszcze w roku 1921 w doskonałej swej rozprawie [1]) na temat rozpraszania świa-




Rys. 90.
Schemat badania fotograficznego zjawiska C o m p t o n a.

tła J. C a b a n n e s poświęcił sporo miejsca bezpośrednim doświadczeniom, potwierdzającym tę tezę. Miała się ona jednak okazać błędną, jak dowiódł A. H. C o m p t o n [2]) w stosunku do promieni




Rys. 91.
Górne zdjęcia dają linję $K_{\alpha}$ molibdenu. Na dolnych mamy, prócz linji zasadniczej, dodatkową linję C o m p t o n o w s k ą.

Röntgenowskich w r. 1923, a w stosunku do światła — C. V. R a m a n [3]) w r. 1928. Zjawiska, odkryte przez C o m p t o n a i R a-

[1]) J. C a b a n n e s. Recherches expérimentales sur la diffusion de la lumière par les gaz transparents. Annales de Physique, 1921, t. XV, s. 5—149.

[2]) Physical Review, 1923, t. 21, str. 207.

[3]) C. V. R a m a n. A new radiation. Indian Journal of Physics, t. II, cz. III, 1928, str. 387, Calcutta.

m a n a, znajdują swe tłumaczenie w kwantach, a nie — w falach.

Już dawno dostrzeżono, że promienie Röntgena rozproszone zawierają domieszkę promieniowania mniej przenikliwego, niż promienie pierwotne. A. H. C o m p t o n pierwszy systematycznie zbadał to zjawisko, stosując metodę spektrometryczną. Schemat doświadczenia C o m p t o n a daje rys. 90. Promienie Röntgenowskie padają na płytkę grafitową *C*, która wysyła promienie rozproszone na wszystkie strony. Szereg przesłon ołowianych, umieszczonych naprawo od *C*, pozwala wyodrębnić wiązkę promieni rozpraszanych w określonym kierunku. Promienie rozpraszane bada się następnie zapomocą spektrografu Röntgenowskiego. Te badania wykazały, że, gdy promieniowanie padające zawiera tylko jedną linję widmową, w promieniowaniu rozproszonem ukazuje się prócz niej druga linja, przesunięta w stronę fal dłuższych, której intensywność w przypadku pierwiastków lekkich może nawet przewyższać intensywność linji pierwotnej. Rzecz jest przedstawiona na rys. 91, gdzie symole *C*, *Al* i *Cu* oznaczają pierwiastki rozpraszające; kąt rozpraszania wynosił 90°. Zdjęcia górne przedstawiają linje promieniowania padającego; zdjęcia dolne dają widmo promieniowania rozproszonego. Istnienie linji przesuniętej stwierdzi czytelnik bez trudu na tych fotografjach. Wielkość przesunięcia linji, jak wykazał A. H. C o m p t o n, rośnie wraz z kątem rozpraszania $\varphi$.

Ilościowe prawo przesunięcia, zgodne z doświadczeniem, zdołał wysnuć ten uczony, zakładając, że przyczynę ukazywania się linji o zmienionem $\lambda$ stanowi odskakiwanie kwantów światła od elektronów swobodnych, inaczej mówiąc — zderzenie elektronów z kwantami promieniowania, w którem, jak i w zderzeniach kul sprężystych, należy uwzględnić tak zasadę zachowania energji, jak i sumowanie się impulsów ciał, ulegających zderzeniu. Załóżmy, że kwant padający niesie energję $h\nu$; według teorji względności jego pęd $= \frac{h\nu}{c}$ [1]). Wektor *OA* na rys. 92 daje wielkość pędu. Kwant oddaje część swej energji elektronowi, który biegnie wówczas w kierunku *OC*, gdy kwant odrzucony posiada kierunek *OB*, tworzący kąt $\varphi$ z kierunkiem pierwotnym promieni. Oznaczając masę elektronu przez $m$, a prędkość przez $v$, i biorąc pod uwagę, że energja kwantu padającego $h\nu$ przechodzi

[1]) Wyprowadzenie tego wzoru znajdzie czytelnik w rozdziale o teorji względności.

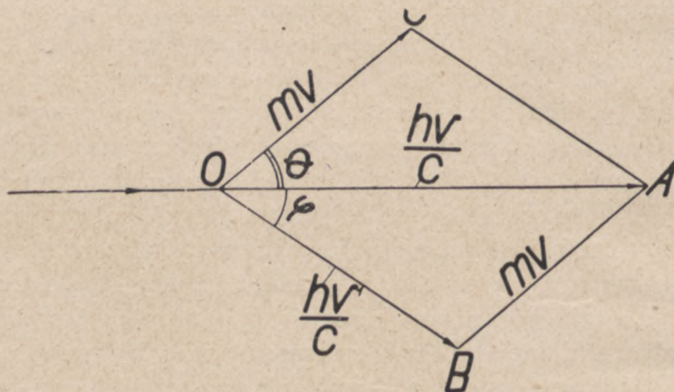
w energję kwantu rozproszonego $h\nu'$ i w energję kinetyczną elektronu, mamy równanie[1]):

$$h\nu = h\nu' + \tfrac{1}{2}mv^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Stąd

$$\nu' = \nu - \frac{1}{2h}mv^2.$$

Ponieważ drugi wyraz po prawej stronie jest z pewnością dodatni, $\nu'$ jest mniejsze, niż $\nu$; długość fali promieni rozproszonych jest za-




Rys. 92.
Udzielanie elektronowi impulsu przez foton.

tem, zgodnie z doświadczeniem, *większa*, niż $\lambda$ promieni padających. Pragnąc otrzymać zależność zmiany $\lambda$ od kąta rozpraszania $\varphi$, rozpatrzymy trójkąt impulsów $AOB$ na rys. 92. Wiadomo, że

$$AB^2 = OA^2 + OB^2 - 2OA \,.\, OB \,.\, \cos\varphi.$$

Podstawiając wartości pędów (impulsów), mamy

$$\left(mv\right)^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2\,\frac{h\nu}{c}\cdot\frac{h\nu'}{c}\cos\varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Dzieląc obydwie części tego równania przez $2m$, znajdujemy

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = \frac{h^2\nu^2}{2mc^2} + \frac{h^2\nu'^2}{2mc^2} - \frac{h^2\nu\nu'}{mc^2}\cos\varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

[1]) Posługujemy się tu wzorami przybliżonemi, pomijając poprawkę relatywistyczną. Obliczenie dokładne prowadzi jednak od wzoru ostatecznego identycznego z tym, który daje metoda przybliżona (wzór 5-ty).

Z równania (1) mamy, że

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu' ;$$

podstawiamy tę wartość do równania (3) i dzielimy następnie obydwie strony równości otrzymanej przez $\frac{h\nu\nu'}{c}$. Otrzymujemy wówczas:

$$\frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu} = \frac{h}{2mc} \cdot \frac{\nu}{\nu'} + \frac{h}{2mc} \cdot \frac{\nu'}{\nu} - \frac{h}{mc} \cdot \cos\varphi \quad . \; . \; . \; . \quad (4)$$

W myśl zasadniczego wzoru teorji falowej

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ i } \lambda' = \frac{c}{\nu'} ;$$

biorąc po prawej stronie równania (4) $\frac{h}{mc}$ przed nawias, mamy:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}\left[\tfrac{1}{2}\left(\frac{\nu}{\nu'} + \frac{\nu'}{\nu}\right) - \cos\varphi\right].$$

Gdy się bada rozpraszanie przeciętnie stosowanych w laboratoryjnej praktyce promieni Röntgenowskich, $\nu'$ *mało się różni* od $\nu$. Pomijając małe wyższego rzędu[1]), możemy założyć $\frac{\nu}{\nu'} = 1$ i $\frac{\nu'}{\nu} = 1$; oznaczając jeszcze $\lambda' - \lambda$ przez $\triangle\lambda$, otrzymamy wzór ostateczny

$$\triangle\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\varphi) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Ten wzór zasadniczy mówi, że zmiana długości fali rośnie wraz z kątem rozpraszania, gdyż $\cos\varphi$ maleje przy zwiększaniu się kąta od $0^\circ$ do $180^\circ$. Gdy się obserwuje promieniowanie rozproszone prostopadle do kierunku pierwotnego promieni ($\varphi = 90^\circ$), zmiana długości fali $\triangle\lambda = h/mc$. Obliczymy ją łatwo, gdyż wiadomo, że $h = 6.55 \times 10^{-27}$, $m = 8.98 \times 10^{-28}$ gr., $c = 3 \times 10^{10}$; podstawiając powyższe wartości, znajdujemy $\triangle\lambda = 0.242 \times 10^{-8}$ cm. $= 0.242$ jednostek Ångströma.

Jak widzimy, $h/mc$ jest wielkością stałą. Zasadniczy wzór (5) orzeka zatem, że zmiana długości fali wskutek rozpraszania jest zupełnie niezależna ani od natury ciała rozpraszającego, ani też od długości

---

[1]) Załóżmy, że $\nu' = \nu - \varepsilon$. W takim razie $\frac{\nu}{\nu'} = \frac{\nu}{\nu - \varepsilon}$, co w pierwszem przybliżeniu $= 1 + \varepsilon/\nu$; natomiast $\frac{\nu'}{\nu} = 1 - \varepsilon/\nu$ w przybliżeniu. Suma tych dwu wyrazów $= 2$.

fali promieniowania pierwotnego, a zależy tylko od kąta rozpraszania [1]).

Te przewidywania teoretyczne, których słuszność à priori wcale się nie wydaje prawdopodobna, zostały potwierdzone przez doświadczenia. Używając do rozpraszania pierwiastków takich, jak beryl, bor, węgiel, krzem, tlen, siarka i t. d., stwierdzono, że promieniowanie, rozpraszane pod danym kątem, składa się z linij przesuniętych o tę samą wielkość; zmiana długości fali promieniowania pierwotnego nie wpływa na przesunięcie.

Jak doskonale się potwierdza zależność przesunięcia linji od kąta rozpraszania, widać z rys. 93, zaczerpniętego z jednej z prac A. H. Comptona. Na rysunku tym *P* oznacza linję nieprzesuniętą, t. j. linję promieniowania pierwotnego; *T* jest linją przesuniętą. Odstęp pomiędzy linjami został obliczony teoretycznie, na zasadzie wzoru (5), i odpowiednia linja *T* została poprowadzona. Następnie dokonano pomiarów natężenia promieniowania rozpraszanego, stosując jednak nie metodę fotograficzną, lecz — metodę jonizacyjną. Dostrzegamy, że teoretyczne linje *T* rzeczywiście przypadają w najwyższych miejscach krzywych, wyznaczonych na podstawie eksperymentów.

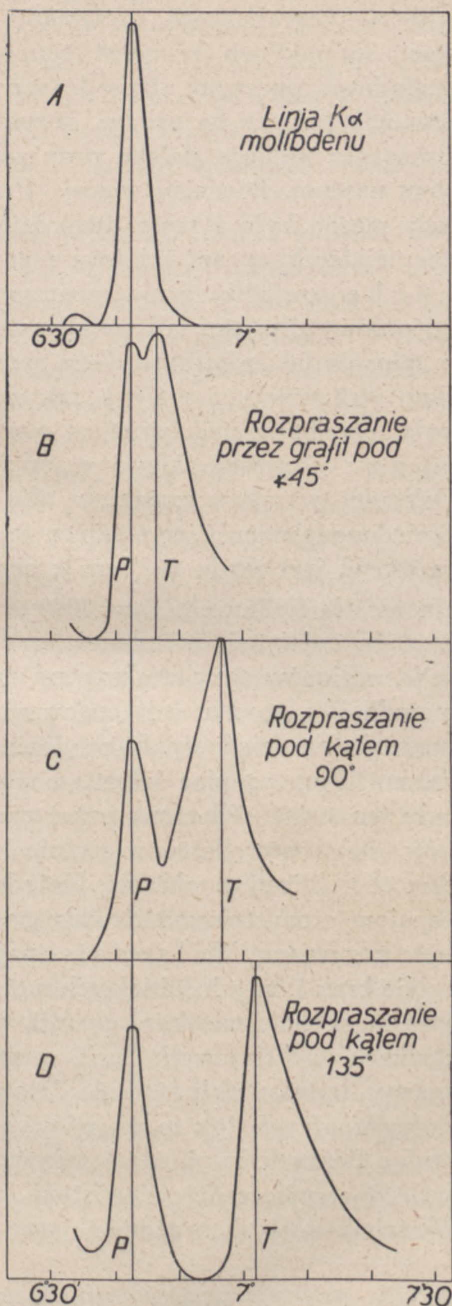
W przypadku litu, który jest trzecim pierwiastkiem kolejnym w tablicy układu perjodycznego, znika zupełnie linja nieprzesunięta. Znaczy to, że cała energja promieniowania rozpraszanego tkwi w kwantach odrzuconych przez elektrony swobodne. W miarę wzrastania ciężaru atomowego pierwiastka wzrasta stopniowo natężenie linji nieprzesuniętej w porównaniu z natężeniem linji przesuniętej. Widać to wyraźnie na rys. 91. W przypadku węgla, na zdjęciu pierwszem po lewej ręce, linja przesunięta jest silniejsza od nieprzesuniętej; w przypadku glinu natężenia są niemal równe; na zdjęciu trzeciem, odpowiadającem miedzi, linja przesunięta jest już wyraźnie słabsza od nieprzesuniętej. Istnienie linji o niezmienionej długości fali przypisuje się elektronom nieruchomym; w miarę wzrastania ciężaru atomowego, rośnie też ładunek dodatni jądra i to, być może, przyczynia się do sztywniejszego powiązania elektronów z całością,

---

[1]) Paradoksalność wyniku, do którego prowadzi nas rozumowanie kwantowe, uwydatnia się lepiej w języku optyki światła widzialnego. Doszliśmy do wniosku, że np. kulka alabastrowa, oświetlona światłem niebieskiem winna się nam wydać pod małym kątem do kierunku pierwotnego promieni zielona, pod kątem 90° — żółta, przy kącie 135° — czerwona. Wyjaskrawiliśmy, oczywiście, wniosek, gdyż $\Delta\lambda$ jest zawsze małe; światło widzialne nie daje zresztą zjawiska Comptona.

wskutek czego nie mogą one być odrzucane przez kwanty promieniowania. Jest to tylko ogólnikowa próba wytłumaczenia, która w żadnym razie nie może rościć pretensji do ścisłości.

Dotychczas, mówiąc o zjawisku C o m p t o n a, zajmowaliśmy się tylko promieniowaniem rozproszonem, a pomijaliśmy elektron, któremu kwant odskakujący przekazuje część swej energji, nadając mu pewien, naogół niewielki, impuls. Przebieg tego elektronu powolnego można uwidocznić, gdy zjawisko C o m p t o n a zachodzi w gazie. Drogę, przebieganą przez elektron, można wykrywać fotograficznie metodą C. T. R. W i l s o n a. Opracowując swą metodę, oparł się W i l s o n na następującym fakcie doświadczalnym: w gazie wolnym od pyłków, zawierającym parę wodną przesyconą, para skrapla się przedewszystkiem na jonach. Wyobraźmy sobie teraz jakiś czynnik powodujący silną jonizację, np. cząsteczkę alfa ciał p r o m i e n i o t w ó r c z y c h, b i e g n ą c ą przez gaz. Na drodze cząsteczki tworzą się jony d o d a t n i e i ujemne. Je-




Rys. 93. Zmiana długości fali przy rozpraszaniu promieni R ö n t g e n o w s k i c h. *T* — l i n j a przesunięta, wykreślona na podstawie wzoru teoretycznego, dokładnie odpowiada maximom krzywych eksperymentalnych. *P* oznacza linję rozpraszania klasycznego (bez zmiany $\lambda$).

żeli szybko przesycimy przestrzeń parą wodną i, dając na chwilę intensywne oświetlenie, w porę dokonamy momentalnego zdjęcia fotograficznego, otrzymamy na kliszy tor cząsteczki $\alpha$ w postaci drobniutkich kropelek, skupionych na jonach. Tym sposobem poglądowo, naocznie, stwierdzamy istnienie procesów, któreśmy poprzednio jedynie na drodze rozumowania mogli przewidywać; dostrzeganie wybiega daleko poza zakres tego, co jest dostępne zmysłom naszym. Powiemy więcej. Przed stworzeniem tej pięknej metody można było à priori twierdzić, i to na podstawie naukowej, że ani cząsteczki $\alpha$, ani jej toru nigdy nie zobaczymy. Helhmoltz i Abbe dowiedli, że nie zobaczymy nigdy przedmiotów mniejszych od połowy długości fali światła użytego do obserwacji; wynika to z uginania fal świetlnych. Gdy przedmiot obserwowany przez mikroskop jest mniejszy, niż $^1/_2\lambda$, fale świetlne poprostu obchodzą go dokoła; podobnież nad brzegiem morza wielki głaz powstrzymuje bieg fal, a mały kamień, zalewany przez fale, nie stanowi dla nich zapory. Dokładne wymiary cząsteczki alfa nie są znane; jest jednak nader prawdopodobnem [1], że średnica jej nie przewyższa $10^{-13}$cm. (średnica atomu jest rzędu $10^{-8}$ cm.); obserwacja mikroskopowa przy użyciu światła fiołkowego ($\lambda = 4000\ \mathring{A} = 4 \times 10^{-5}$cm.) pozwoliłaby wykryć co najwyżej przedmiot średnicy rzędu $2 \times 10^{-5}$cm., a więc setki miljonów razy większy od cząsteczki alfa. Widzimy więc, że metoda Wilsona jest cudownym sposobem rozszerzenia naszego poznania na dziedziny, które doniedawna, mówiąc językiem Szekspira, mogliśmy oglądać jedynie oczyma duszy naszej. Okazało się, że cały ten świat, stworzony przez naukę, świat cząsteczek $\alpha$ i $\beta$, protonów, elektronów, fotonów realnie istnieje, a nie jest jedynie wytworem chorobliwej wyobraźni. Metoda Wilsona nadała naszym koncepcjom atomistycznym trwałą podstawę. Podkreśleniem tego faktu było przyznanie Wilsonowi nagrody Nobla.

Nie brak i innych subtelnych metod badania, pozwalających wykrywać najdrobniejsze ilości energji, przenoszone przez promienie o ładunkach elektrycznych, bądź przez promieniowanie elektromagnetyczne. Żadna z nich atoli nie daje możności śledzenia *historji cząstek indywidualnych,* jak to ma miejsce w metodzie Wilsona. Dokonywując licznych seryj zdjęć, udawało się znaleźć potwierdzenie wyobrażeń współczesnej atomistyki, unaocznić wiele tajników atomu. Wrócimy do tych zagadnień jeszcze; tu nadmienimy tylko, że, pod-

---

[1]) Na podstawie przechodzenia cząsteczek $\alpha$ przez materję.

dając np. małą płytkę srebrną działaniu nader słabego promieniowania Röntgenowskiego, otrzymywano zdjęcia, na których w jednem tylko jakiemś miejscu płytki wyskakuje fotoelektron, znaczący swą drogę kropelkami. Widząc te fotografje, trudno nie nabrać przeświadczenia, że na odnośnej powierzchni falowej wówczas w jednym tylko punkcie była skupiona energja, wystarczająca do wyrwania fotoelektronu i nadania mu pędu, że w danym momencie przestrzeń przebiegał jeden tylko foton.

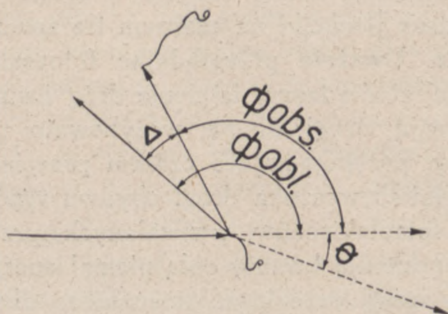
Przebieg promieni Röntgenowskich przez gaz można również uwidocznić metodą Wilsona. Na rys. 94 tablicy, umieszczonej obok str. 368, przedstawiony jest ślad drogi promieni X. Szczegółowe badanie pokazuje, że same promienie X nie wytwarzają jonów; wyzwalają one tylko elektrony, które właśnie w biegu swym powodują jonizację gazu. Jasne punkciki na czarnem tle znaczą przebieg elektronów przez gaz. Uważnie przeglądając fotografje Wilsonowskie promieni Röntgena, stwierdzamy istnienie dróg dwu typów. Niektóre elektrony przebiegają drogi długie, wężykowato powyginane; inne dają krótkie ślady, przypominające czasem przecinki lub rybki. Na rys. 94 czytelnik łatwo wyszuka drogi obydwu typów. Drogi długie, kręte należą do fotoelektronów, wyzwalanych przez promienie *X*; fotoelektronom przekazują kwanty całą niemal energję swoją; dzięki temu te elektrony mogą przebiegać stosunkowo długie drogi; wskutek zderzeń z molekułami odchylają się od biegu prostolinjowego. Ślady krótkie to — elektrony Comptonowskie, potrącone jedynie przez kwanty, i dlatego posiadające niewielki zapas energji. Zostały one pokazane w powiększeniu na rys. 95 tablicy IV. Elektrony te na początku swej drogi jonizują słabiej, niż w końcu, gdy posiadają bardzo mały pęd, gdyż wogóle elektrony powolne więcej wytwarzają jonów, niż elektrony prędkie. Dlatego też wydaje się, że ślady elektronów Comptonowskich mają częstokroć wygląd „rybek" cienkich u ogonka, grubych po stronie łebka, płynących jakby w kierunku promieni X. Taki charakter krótkich śladów potwierdza nasze wyobrażenia o zjawisku Comptona.

Artur H. Compton i Alfred W. Simon[1]) dokonali w roku 1925 pięknej i ważnej pracy, mającej na celu bezpośrednie sprawdzenie teoretycznych przesłanek kwantowego ujęcia zjawiska Comptona. Wyobraźmy sobie bardzo cienką wiązkę przenikliwych promieni Röntgena, przebiegającą przez gaz od lewej ręki do prawej.

---

[1]) Directed quanta of scattered *X*-rays. Physical Review, 1925, t. 26, str. 289.

Jeżeli w punkcie O nastąpi zderzenie kwantu z elektronem (rys. 92, ob też rys. 96), elektron zostanie odrzucony, tworząc kąt $\Theta$ z kierunkiem pierwotnym kwantu, a kwant o nieco zmniejszonej energji odskoczy pod kątem $\varphi$. Kąt $\Theta$ może być zmierzony, ponieważ kierunek pierwotny promieni X jest znany, a kierunek, w którym zostaje odrzucony elektron, jest styczny do początkowej części drogi, którą on przebiega. Kwant odskoczy pod kątem $\varphi$; jego droga po zderzeniu się z elektronem naogół nie zaznaczy się na zdjęciu Wilsonowskiem. Może się atoli zdarzyć, że kwant odbity wytworzy fotoelektron, — szczególnie, jeżeli napotka na swej drodze przegrodę metalową. Fotoelektron, posiadający, jakeśmy mówili wyżej, dużą szybkość, da początek długiemu, wężykowatemu śladowi. Początek tego

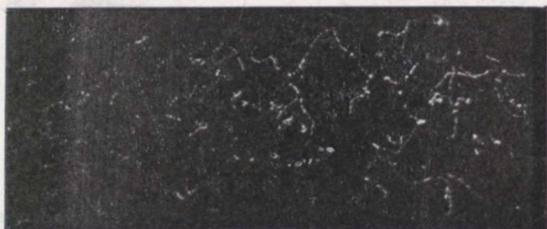



Rys. 96.

Elektron odrzucony i kwant odskakujący znaczą swe drogi (rys. schematyczny). Kąt $\Theta$ można zmierzyć; kąt $\varphi$ można obliczyć teoretycznie bądź też wyznaczyć doświadczalnie. Różnica $\Delta$ pomiędzy wartością obliczoną a zaobserwowaną jest naogół niewielka.

śladu połączymy z punktem zderzenia O, otrzymamy wówczas graficznie kąt $\varphi$. (Ob. schemat na rys. 96). Nie wyprowadzimy tu zależności pomędzy kątami $\Theta$ i $\varphi$; można jednak wykazać, że każdemu $\Theta$ odpowiada ściśle oznaczony kąt $\varphi$, co się, zapewne, wyda czytelnikowi naturalnem na podstawie teorji, podanej na str. 362.

Jedno ze zdjęć C o m p t o n a i S i m o n a pokazuje w reprodukcji rys. 97 na tablicy IV. Obrazki górny i dolny są identyczne. Na górnym ślady dróg elektronów zostały wyretuszowane i odpowiednie linje zostały wyciągnięte. Dolny stanowi niezmienioną kopję zdjęcia rzeczywiście otrzymanego. Zrazu rzucają się w oczy głównie jakby strzępiaste firaneczki, któremi cały obrazek jest poprzedzielany. Są to przesłonki z folji ołowianej, którą umieszczono w komorze Wil-



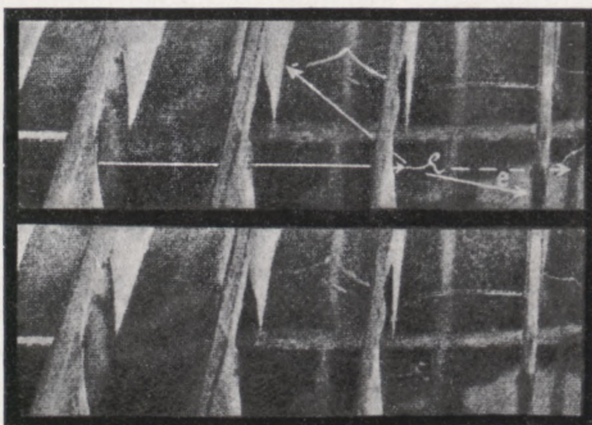
Rys. 94.

Drogi elektronów, wyzwolonych przez promienie Röntgena. Długie, wężykowate ślady należą do fotoelektronów o dużej prędkości; krótkie ślady wytwarzają elektrony Comptonowskie.



Rys. 95.

Krótkie ślady elektronów Comptonowskich w powiększeniu („przecinki i rybki" C. T. R. Wilsona).



Rys. 97.

Zdjęcia Comptona i Simon'a, wykonane Wilsonowską metodą pozwalają wykreślić kierunek fotonu odskakującego i odrzuconego elektronu. Zdjęcie górne było retuszowane. Komora była poprzegradzana zasłonkami z folji ołowianej.

sonowskiej, by odskakujące kwanty miały sposobność wytwarzania fotoelektronów. Na rys. 97 istotnie widzimy, że fotoelektron bierze swój początek na przegródce z folji. Czytelnik zechce porównać ze sobą obydwa obrazki retuszowany i nieretuszowany i zechce odróżnić drogę elektronu odrzuconego od śladu fotoelektronu; promienie Röntgena biegły od lewej ręki ku prawej.

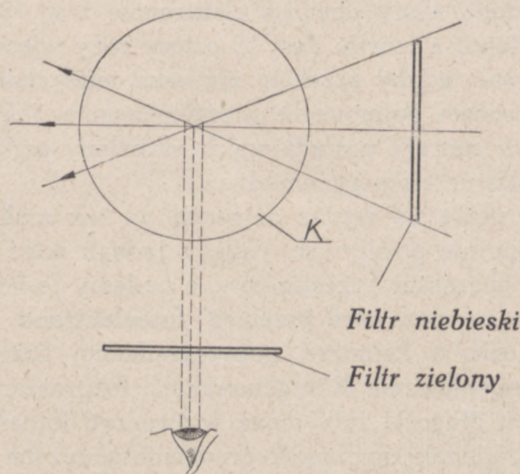
W wielkiej serji obserwacyj, obejmującej 850 zdjęć, na 38 fotografjach znaleziono ślady obydwu elektronów i w 18 przypadkach otrzymano zgodność z teorją. Jest to cztery razy więcej, niżby można było oczekiwać, gdyby przebieg zjawiska miał charakter wypadkowy. Tym sposobem pojmowanie promieniowania, jako biegu punktowych pocisków energji, posiadających określony pęd, uzyskało poważne potwierdzenie eksperymentalne.

Czytelnikowi może się wydać dziwnem, że tak mała liczba zdjęć dała wyniki zupełnie pozytywne. Należy jednak mieć na względzie, iż zjawisko ma charakter przestrzenny, a badamy je na kliszach płaskich; dalej, — że niezawsze przebieg fotoelektronu daje się uwidocznić na zdjęciu w komorze, poprzegradzanej firaneczkami cynfolji, że i promieniowanie Röntgenowskie, rozpraszane klasycznie, t. j. bez zmiany długości fali, może wytworzyć fotoelektrony; wreszcie, — że i promienie domieszek promieniotwórczych mogą wytwarzać jony. W tych okolicznościach należy uważać wyniki badania za zupełnie zadawalające.

Eksperyment pokazuje, że zjawisko Comptona zanika już przy użyciu promieni Röntgena miękkich, t. j. długofalowych; praktycznie biorąc, nie może ono być obserwowane, gdy długość fali przewyższa 2 jedn. Angströma. Możnaby to rozumieć tak, że przy zwiększeniu długości fali energja kwantów, która jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali, zmniejsza się o tyle, że nie wystarcza już do zapoczątkowania zjawiska. Rozumie się, tembardziej niepodobna oczekiwać zjawiska Comptona przy użyciu fal świetlnych, których $\lambda$ przewyższa tysiące razy długość fal promieni X. Odkryto jednak, stosunkowo niedawno, zjawisko zupełnie analogiczne do zjawiska Comptona w dziedzinie promieniowania widzialnego i nadano mu, na cześć odkrywcy, nazwę zjawiska Ramana.

C. V. Raman w Kalkucie wraz z uczniami swymi zajmował się od długiego szeregu lat badaniem rozpraszania światła przez różne ośrodki mterjalne. Uczeni hinduscy nawiązywali swe liczne prace doświadczalne do badań teoretycznych Lorda Rayleigh'a; prace ich dały cenne przyczynki faktyczne w tej dziedzinie optyki. Już

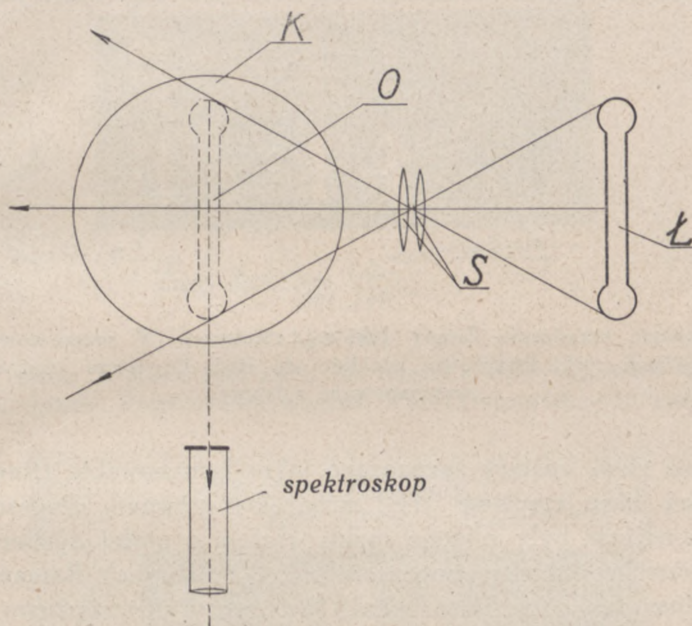
w r. 1923 Dr. Ramanathan, jeden ze współpracowników Ramana, znalazł, że w świetle rozpraszanem przez związki organiczne, jak benzol, ukazują się, prócz fal świetlnych pierwotnych, nowe składniki wtórne o $\lambda$ większem od długości światła padającego. Schemat doświadczenia pokazuje rys. 98. Promienie silnego źródła światła, np. słońca lub lampy łukowej, koncentruje się wewnątrz kolby *K*, napełnionej cieczą badaną. Prostopadle do osi promieniowania pier-




Rys. 98.
Światło niebieskie ulega rozpraszaniu wewnątrz kolby, zawierającej badaną ciecz. Obserwator, posługując się zielonym filtrem, wykrywa nowe składniki promieniowania.

wotnego obserwuje się promienie wtórne, rozproszcne, pokazane na rysunku linjami przerywanemi. Aby wykazać nowe składniki promieniowania, używa się filtrów świetlnych. Promienie pierwotne przepuszcza się przez filtr niebieski. Tym sposobem stożek światła, skupionego wewnątrz kolby, zawiera tylko światło krótkiej fali. Gdyby rozpraszanie światła zachodziło zgodnie z wymaganiami teorji falowej, w świetle, idącem ku oku obserwatora, powinnyby się znajdować jedynie fale o tej samej barwie, co i — pobudzające, a więc niebieskie. Umieszczając przed swem okiem szybę zieloną, nieprzepuszczającą promieni niebieskich, lecz tylko zielone, obserwator powinienby mieć pole widzenia zupełnie ciemne. Doświadczenie wykazało jednak, że przez filtr zielony przechodziło światło, coprawda słabe; wynikało stąd, że część energji promieni padających przetwarzana była przez ośrodek materjalny na promieniowanie o dłuższej fali.

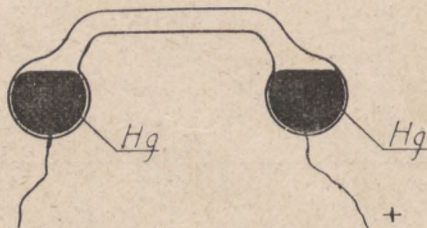
Ramanathan i Raman mniemali pierwotnie, że badane ciecze organiczne zawierają nieznane domieszki ciał obcych, fluoryzujących, i że obserwowana domieszka promieni fali długiej wynika z fluorescencji. Przez długi czas próbowano bezskutecznie usunąć domniemane zanieczyszczenia, poddając badane ciecze destylacji w próżni, nadaremnie jednak. Dopiero w roku 1928 wpadł Raman na nową szczęśliwą myśl. Widząc w pojawiających się falach długich ana-




Rys. 99.
Wykrywanie prążków Ramanowskich. *Ł* — lampa łukowa rtęciowa. *S* — soczewki kondensatora. *K* — kolba z cieczą badaną. *O* — obraz łuku rtęciowego.

logję do zjawiska Comptona, poddał promieniowanie rozpraszane szczegółowemu badaniu spektralnemu i stwierdził, że przy pobudzeniu światłem jednobarwnem obok każdej linji pierwotnej ukazują się linje przesunięte, wtórne. Z reguły wszystkie linje wtórne są przesunięte w stronę fal długich; w pewnych razach udaje się jednak obserwować i linje nowe, przesunięte w stronę fal krótkich. Stosowany przez Ramana sposób badania wyjaśnia rys. 99. Źródłem światła jest lampa łukowa rtęciowa (*Ł* na rysunku), która daje światło, składające się w części widzialnej z nielicznych, nader inten-

sywnych linij. Soczewki *S* wytwarzają wewnątrz kolby *K* obraz łuku *O*. Prostopadle do osi stożka światła padającego jest umieszczony spektrograf, który pozwala fotografować widmo światła rozpraszanego; okiem dobrze wypoczętem najsilniejsze linje nowe można obserwować za pomocą spektroskopu. Zdjęcia tego rodzaju pokazują rys. 101 i 102 na tablicy, umieszczonej obok str. 372. Literą *a* oznaczono widmo, wysyłane przez łuk rtęciowy; pod literą *b* mamy widmo rozpraszania benzolu i siarczku węgla. Nowe linje, których niema

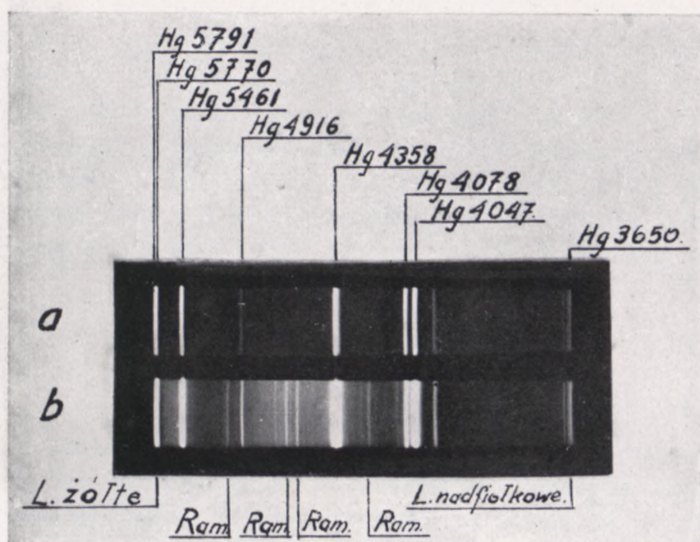



Rys. 100.

Schemat urządzenia lampy łukowej rtęciowej. W rozszerzonych częściach rurki kwarcowej znajduje się rtęć. Powietrze musi być wypompowane z lampy.

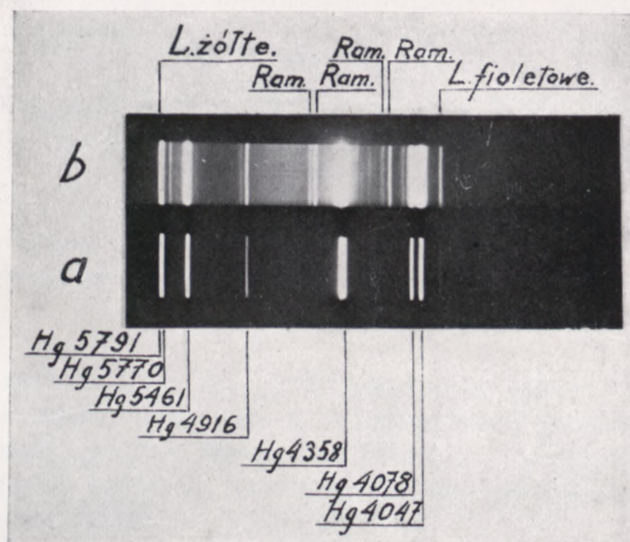
w widmie rtęci, zostały zaznaczone jako Ramanowskie (Ram.); pobudzające linje rtęciowe (Hg) scharakteryzowano długością fali. Obydwa zdjęcia były robione spektrografem o małej dyspersji przy użyciu szerokiej szpary; poprzestano też na linjach Ramanowskich najsilniejszych. W tych warunkach wystarczyły stosunkowo krótkie czasy ekspozycji. Gdy chodzi o badania szczegółowe i eksperymentatorowi zależy na wymierzeniu nawet słabych nowych linij, czasy ekspozycji należy znacznie powiększyć; 30 - godzinne ekspozycje nie należą do rzadkości; niektórzy badacze eksponowali klisze po 7 dni zrzędu.

Pomiędzy zjawiskiem R a m a n a a zjawiskiem C o m p t o n a istnieją zasadnicze różnice. Przesunięcie linij w zjawisku R a m a n a jest niezależne od kąta rozpraszania, gdy w zjawisku C o m p t o n a kąt rozpraszania $\varphi$ gra rolę decydującą. Dalej, przesunięcie linij w zjawisku C o m p t o n a nie zależy od natury ciała rozpraszającego, gdy w zjawisku R a m a n a każdy ośrodek wytwarza nowe, zupełnie odrębne widmo rozpraszania, co odrazu rzuca się w oczy na rys. 101 i 102. Wytłumaczenie teoretyczne tych różnic jest w zasadzie proste. W zjawisku C o m p t o n a kwanty odskakują od elek-




Rys. 101.

Na zdjęciu *a* mamy linje rtęci; na zdjęciu *b* występują, prócz linij rtęci, prążki Ramanowskie benzolu. Czas ekspozycji — 10 minut.




Rys. 102.

Zdjęcie *a* — widmo *Hg*; zdjęcie *b* daje widmo Ramanowskie $CS_2$. Aby dobrze uwydatnić linje Ramanowskie trzeba było przeeksponować linje rozpraszania klasycznego. Czas ekspozycji — 1 godz. 15 min.

tronów, które są uniwersalnemi, zawsze jednakiemi cegiełkami budowy atomów. Zjawisko R a m a n a polega na wymianie energji pomiędzy kwantami padającemi a molekułami ośrodka materjalnego. Przypuśćmy, że naświetlamy dany ośrodek światłem jednobarwnem, którego kwant $= h\nu_0$. Kwant przekazuje drobinie pewną ilość energji $E$ ; wobec tego w świetle rozproszonem ukazuje się kwant uboższy w energję, o wielkości $h\nu$ . W myśl zasady zachowania energji:

$$h\nu_0 = h\nu_i + E_i \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Stąd

$$\nu_i = \nu_0 - E_i/h \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Widzimy zatem, że częstość drgań $\nu_i$ światła rozproszonego jest mniejsza, niż częstość drgań $\nu_0$ światła padającego; odpowiednia linja widmowa będzie zatem przesunięta w stronę fal dłuższych.

Eksperyment (ob. rozdziały o budowie atomu) i teorja uczą, że atom czy drobina nie mogą pobierać dowolnych ilości energji $E_i$, lecz tylko ściśle określone, wynikające z ich struktury i z praw ogólnych, które rządzą zjawiskami wewnątrzatomowemi. Jeżeli molekuła może pobierać ilości energji

$$E_1, \; E_2, \; E_3, \ldots \; E_i, \ldots \; E_k \; ,$$

należy oczekiwać, że w świetle rozproszonem każda linja pierwotna o częstości drgań $\nu_0$ da szereg linij

$$\nu_1, \; \nu_2, \; \nu_3, \ldots \; \nu_i, \ldots \; \nu_k,$$

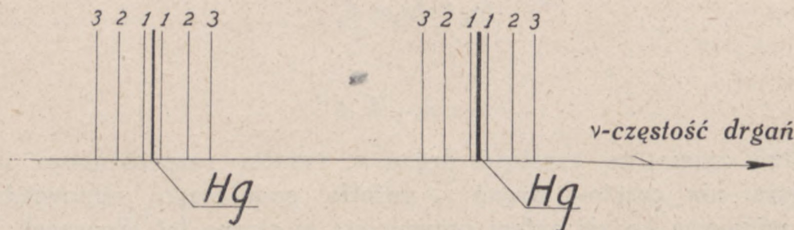
których częstości drgań mogą być obliczone na mocy wzoru (7). Widzimy więc, że *zmiana częstości drgań*

$$\nu_0 - \nu_i = E_i/h$$

zależy jedynie od ilości energji $E_i$, które może pobierać dana molekuła, a nie zależy od wartości $\nu_0$. A zatem, jeżeli przedstawimy zjawisko w skali częstości drgań, koło każdej linji pierwotnej powstanie szereg linij wtórnych, przesuniętych jednakowo w stronę *mniejszych* częstości drgań.

W pewnych razach prócz tych linij spotykamy też linje symetrycznie przesunięte w stronę przeciwną. Tłumaczymy te linje procesem odwrotnym: oddawaniem przez molekułę kwantowi określonej ilości energji; drobina bowiem może, wskutek procesów termicznych naprzykład, posiadać zawartość energji o $E$ większą od normalnej i ten

nadmiar energji przekazuje kwantowi. To nas prowadzi do idealnego schematu zjawiska R a m a n a, przedstawionego na rys. 103. Koło każdej linji pierwotnej (Hg) powstają linje przesunięte wlewo, wytworzone wskutek oddawania molekułom energji przez kwanty i linje o tyleż przesunięte wprawo, spowodowane przez oddawanie kwantom energji molekularnej. W rzeczywistości linje tego ostatniego typu są niezmiernie słabe i tylko w wyjątkowych razach ukazują się wy-




Rys. 103.
Idealny schemat prążków Ramanowskich.

raźnie na kliszach. Wynika to stąd, że procent molekuł pobudzonych, t. j. posiadających nadmiar energji, jest bardzo niewielki.

Liczne badania eksperymentalne, dokonane w ciągu kilku lat ostatnich, dały trwałą podstawę naszkicowanemu przez nas kwantowemu pojmowaniu zjawiska R a m a n a. Doniosłość badań nad zjawiskiem R a m a n a polega na tem, że odsłania nam ono energetykę drobin, wskazując, jakie porcje energji $E_i$ mogą być przez molekuły pobierane i oddawane. Jest też rzeczą możliwą, że zjawisko R a m a n a odegra znaczną rolę również i w badaniach chemji organicznej, dotyczących struktury molekuł.

### E. Emisja widm linjowych pod wpływem zderzeń atomów z elektronami powolnemi.

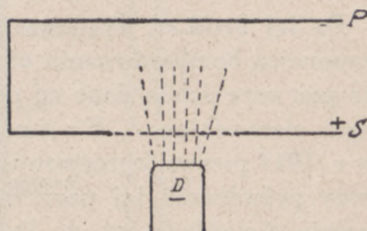
Emisja promieni *X* zachodzi przy zderzeniach atomów z elektronami szybkiemi. Możnaby na podstawie analogji mniemać, że przy zderzeniach atomów z elektronami powolnemi zachodzić będzie emisja światła. Czy i w tym razie należy stosować prawo E i n s t e i n a? Nie wydaje się to pewnem à priori wobec tego, że w przypadku promieni Röntgena wzór E i n s t e i n a nie daje się stosować do linij, lecz — do kresu widma ciągłego.

Cokolwiek dałoby się o tem zgóry powiedzieć, doświadczenie okazało bezsprzecznie, iż atomy gazów i par, bombardowane przez elek-

trony powolne, wysyłają widma linjowe i że długość fali światła wysyłanego może być obliczona na podstawie relacji kwantowej, którąśmy już stosowali wielokrotnie:

$$Ve = \tfrac{1}{2}mv^2 = h\nu.$$

Przedstawimy przedewszystkiem stronę doświadczalną tych badań. Źródłem, które wypromieniowuje elektrony, jest rozżarzony drut albo blaszka metalowa, podobnież jak to ma miejsce w lampie katodowej ($D$ na rys. 104). Płytka $S$ jest zaopatrzona pośrodku w siatkę, przez której oczka mogą przechodzić promienie katodowe w przestrzeń pomiędzy $S$ a $P$. Płytce nadajemy potencjał dodatni, tym sposobem na drodze od $D$ do $S$ elektrony doznają przyśpieszenia, nabierają energji kinetycznej $\frac{1}{2}mv^2 = Ve$, gdzie $V$ oznacza różnicę potencjałów pomiędzy $D$ a $S$; $S$ i $P$ są połączone (połączenie pokazane jest po lewej stronie rysunku); w tej przestrzeni potencjał jest stały.




Rys. 104
Wzbudzanie świecenia par zapomocą elektronów powolnych. $D$ oznacza żarzącą się katodą.

Zmieniając stopniowo różnicę potencjałów $V$, można skierować na badany gaz lub parę strumień elektronów o wciąż wzrastającej prędkości. Nastawiwszy szparę spektrografu na gaz, poddany działaniu elektronów, obserwuje się emisję. Dopiero przy pewnym ściśle określonym woltażu pojawia się pierwsza linja widmowa (ob rys. 105, dotyczący pary magnezu), kolejno ukazują się dalsze linje, wreszcie— całkowite widmo pierwiastka. Pierwsza linja widmowa, ukazująca się w tych warunkach pobudzania, otrzymała nazwę linji „rezonansowej"; różnica potencjałów $V$, przy której się ta linja ukazuje, nosi nazwę „potencjału rezonansowego".

Geneza tej nazwy jest następująca: pewne gazy i pary okazują częstokroć zjawiska dokładnie analogiczne do rezonansu akustycznego. Tak np. para rtęci, poddana działaniu światła o długości fali $\lambda = 2536.7$ Å, wysyła zpowrotem światło tej samej długości fali; para sodu, poddana działaniu żółtej linji sodu, daje jako promieniowanie rezonansowe to samo światło żółte. Wrażliwość atomów na pobudzanie ich własnem światłem jest nader wielka; rezonans pary rtęciowej obserwowano jeszcze przy niezmiernie niskich ciśnieniach;

dostrzegano go (fotograficznie) gdy prężność pary nie przewyższała $10^{-7}$ mm. słupa rtęci; przy takej samej prężności pary sodu obserwuje się promieniowanie rezonansowe okiem. Jak wiadomo, linja żółta sodu jest linją podwójną, składającą się z dwu linij bliskich siebie. Zdołano dowieść, że promieniowanie każdej z tych linij jest zgoła niezależne od wypromieniowywania linji sąsiedniej; można otrzymywać w promieniowaniu rezonansowem bądź samą linję $D_1$, bądź samą linję $D_2$.

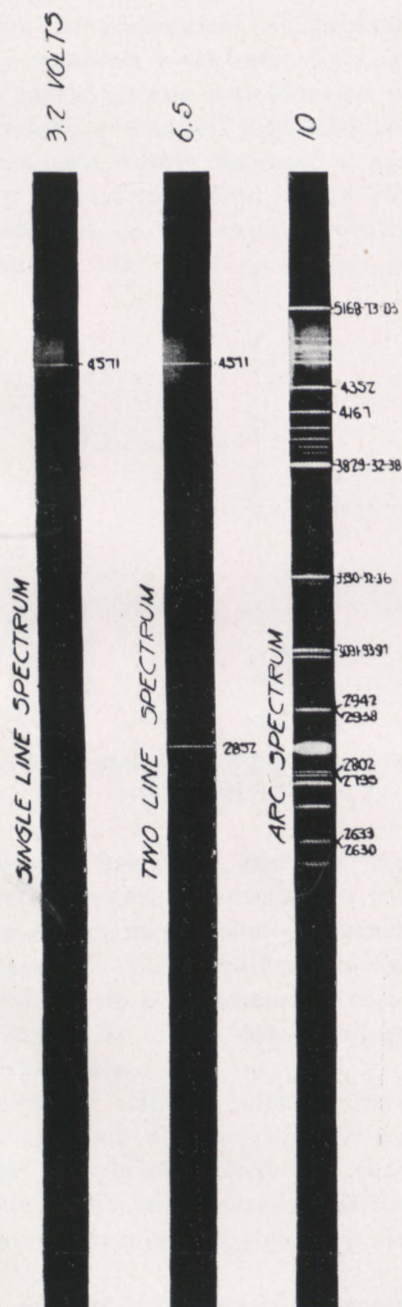
Po tej krótkiej dygresji wróćmy do pobudzania linij widmowych zapomocą bombardowania elektronami. Zauważmy przedewszystkiem, że pierwsze ścisłe dane co do tego zjawiska zawdzięcza nauka uczonym niemieckim J. Franckowi i G. Hertzowi[1]), którzy w r. 1914 pierwsi obserwowali ukazywanie się linji rezonansowej rtęci przy pobudzaniu jej pary zapomocą elektronów odpowiedniej prędkości; stwierdzili oni, że linja 2537 nigdy nie występowała poniżej pewnego napięcia krytycznego; nie było jej przy 4 woltach, a ukazywała się zawsze przy 6 woltach.

Zauważmy, że otrzymanie dużej dokładności na drodze obserwacyj spektralnych jest rzeczą nader trudną. Przeważna część dawnych badań doprowadziła jedynie do zbadania warunków emisji linij rezonansowych. Wszystkie inne linje ukazywały się obserwatorom zawsze naraz, po przekroczeniu tak zwanego potencjału jonizacyjnego, to jest po otrzymaniu elektronów o prędkości, wywołującej jonizację gazu lub pary. Dopiero w ostatnich latach (G. Hertz i inni) udało się okazać, że każda linja lub grupa linij wymaga do swego pobudzenia elektronów ściśle określonej prędkości. Wyjaśniono, iż źródłem poprzednich niepowodzeń i błędów były ładunki przestrzenne ujemne, które niezmiernie łatwo tworzą się w rurkach elektronowych.

Franck i Hertz stworzyli niezmiernie pomysłową metodę pośredniego obserwowania potencjałów wzbudzania emisji linij widmowych. Metoda jest elektryczna, a polega na prawach zderzenia elektronów z atomami. Drogą bezpośrednich doświadczeń, na których się nie będziemy zatrzymywali, dowiedli wymienieni badacze, iż należy odróżniać dwa krańcowe przypadki zderzeń elektronów z atomami i molekułami; w zderzeniach, zwanych sprężystemi, elektrony odskakują od atomów na podobieństwo kul sprężystych, bez straty

---

[1]) J. Franck und G. Hertz. Ueber die Erregung der Quecksilberresonanzlinie 253,6 durch Elektronenstösse. Qerhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, r. 1914, str. 512.

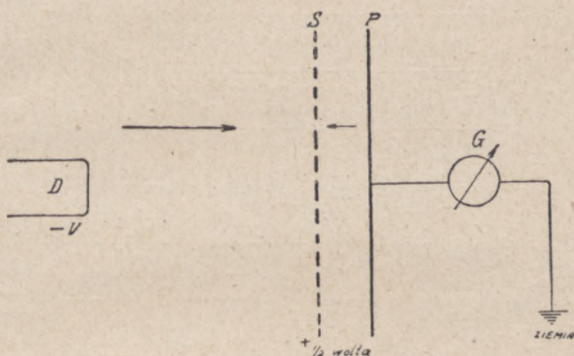



Rys. 105.

Widma magnezu. Przy 3.2 wolta otrzymuje się widmo rezonansowe, w miarę wzrastania woltażu liczba linij powiększa się (Wg. F o o t e'a i M o h l e r a, The origin of spectra).

energji kinetycznej; w zderzeniach niesprężystych elektron przekazuje swą energję atomowi kwantowo. Cała energja lub część jej, w ilości kwantu, przekazywana jest atomowi uderzonemu; w atomie energja ta przechodzi w energję jego elektronu. Atom pobudzony może energję otrzymaną wypromieniować w postaci fal świetlnych.

Dopóki energja kinetyczna uderzającego elektronu jest mniejsza od wartości, niezbędnej do pierwszego pobudzenia atomu, elektron odskakuje od atomu, jak kula sprężysta; gdy energja elektronu




Rys. 106.
Schemat połączeń w badaniu kwantowej wymiany energji pomiędzy elektronami a gazem.

osięgnie pewną wartość krytyczną, zderzenie z atomem sprawia przekazanie tej energji atomowi, elektron traci swój pęd.

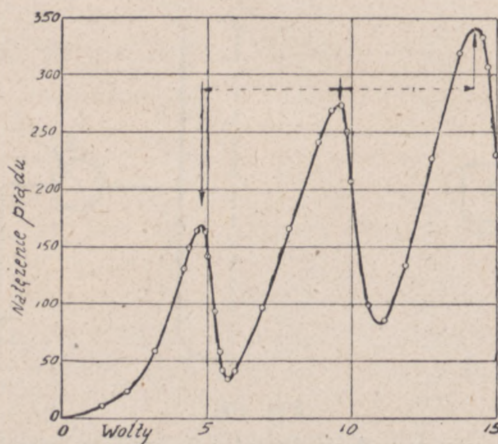
Tego rodzaju zjawiska napotykamy w gazach szlachetnych, w parach metali alkalicznych, ziem alkalicznych i wogóle w parach pierwiastków znajdujących się w tych samych, co i te metale, kolumnach układu perjodycznego. W innych ośrodkach gazowych zdarzają się i zderzenia wpółsprężyste.

Charakter kwantowy zderzeń elektronowych świetnie ilustruje następujące doświadczenie Francka i Hertza[1]). Drut platynowy *D* (rys. 106) wysyła elektrony. Naprzeciw drutu znajduje się siatka o potencjale dodatnim, na drodze od drutu do siatki elektrony poddane są przyśpieszającemu działaniu dość silnego pola elek-

[1]) J. Franck und G. Hertz. Ueber Zusammenstösse zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Jonisierungsspannung desselben. Verhandlungen der Deutschen Physik. Gesellschaft, r. 1914, str. 457.

trycznego. Pomiędzy *S* a płytką *P*, połączoną przez galwanometr z ziemią, elektrony napotykają pole kierunku przeciwnego. Spadek potencjału wynosi tu jednak tylko $^1/_2$ wolta i może zahamować jedynie elektrony najpowolniejsze; wszystkie pozostałe dobiegają do *P*, galwanometr wskazuje wielkość prądu.

Zmieniamy teraz napięcie pomiędzy katodą a siatką, zwiększając je wciąż. Oczekiwalibyśmy, że natężenie prądu będzie wzrastać wraz z napięciem, i że dopiero przy napięciu dostatecznem otrzymamy prąd




Rys. 107.

Krzywa wahań prądu elektrycznego, świadcząca o kwantowej wymianie energji pomiędzy elektronami a molekułami.

maksymalny, prąd nasycenia. Tak właśnie przebiegają zjawska w lampach katodowych, w próżni, gdzie mamy analogiczne elektrody. W gazie lub parze wskutek zderzeń elektronów z atomami, występują zjawiska nowe, nieoczekiwane. Prąd wraz z napięciem z początku szybko rośnie (rys. 107), doszedłszy jednak do pewnego maximum opada, znów rośnie, znów opada i t. d. Wahania prądu są perjodyczne. Można obserwować dużą liczbę kolejnych maximów. Odstęp między nimi jest niezmienny; odstęp ten, wynoszący w rtęci, naprzykład, 4.9 wolta, równa się, jak wykażemy niebawem, potencjałowi rezonansowemu. Perjodycznie pojawiające się maxima w następujący sposób tłumaczymy zderzeniami elektronowemi. Gdy wzrasta napięcie, nie osięgając jednak wartości krytycznej, prąd rośnie, gdyż większa liczba elektronów dobiega do anody. Przy pewnem napięciu elektrony w okolicy siatki posiadają już tak wielki pęd, że

mogą pobudzić do świecenia napotykane atomy; zderzenia elektronów z atomami są teraz niesprężyste; elektron, pobudzający atom, traci swą energję kinetyczną; utraciwszy ją, nie może przezwyciężyć pola o kierunku przeciwnym, istniejącego pomiędzy płytką $P$ a siatką $S$; stąd — spadek prądu. Przy dalszem zwiększaniu napięcia pomiędzy katodą a siatką elektrony nabiorą energji, odpowiadającej zderzeniom niesprężystym, nie w okolicy siatki, lecz przed nią jeszcze, powiedzmy w $^{2}/_{3}$ odległości pomiędzy katodą a siatką. Utraciwszy przy pobudzaniu atomu swą energję kinetyczną, elektrony doznają jeszcze przyspieszenia na $^{1}/_{3}$ drogi od katody do siatki, mogą więc przezwyciężyć pole pomiędzy siatką a płytką; prąd rośnie ponownie. Kiedy jednak napięcie zwiększy się o tyle, że elektrony, raz doznawszy zderzeń niesprężystych na drodze od katody do siatki, potem na dalszej drodze tyle naborą pędu, że w okolicy siatki *po raz drugi* pobudzą atomy i utracą swój pęd, prąd zacznie spadać ponownie. Gdy elektrony, przy dalszem zwiększaniu napięcia, koło siatki *po raz trzeci* będą doznawać zderzeń niesprężystych, otrzymamy po raz trzeci spadek prądu, poprzedzony przez maximum i t. d. Inaczej mówiąc, ilekroć różnica potencjału pomiędzy katodą a siatką wzrośnie o wartość, odpowiadającą pobudzeniu atomu, zaobserwujemy maximum, po którem następuje spadek. Różnica pomiędzy sąsiedniemi maximami będzie odpowiadać potencjałowi pobudzenia $V$, w danym przypadku potencjałowi rezonansowemu.

Po F r a n c k u i H e r t z u, cały szereg innych badaczy, przeważnie w Ameryce, zajmował się wyznaczeniem potencjałów rezonansowych; że wymienimy tu T a t e'a, D a v i s'a, G o u c h e r'a, F o o t e'a. Zmodyfikowano i wydoskonalono metody badania. Uzyskano ogromny materjał faktyczny i stwierdzono, że zjawiska przebiegają zgodnie ze schematem kwantowym:

$$Ve = h\nu$$

gdzie $V$ oznacza napięcie, przyśpieszające elektron, pozostałe zaś litery mają zwykłe znaczenie. Stąd możność wyznaczenia stałej Planck'a, $h$, gdyż $\nu$, częstość drgania promieniowania rezonansowego, znana jest z obserwacyj spektroskopowych.

Należy zauważyć, że doświadczenia te są pod względem eksperymentalnym trudne i nie mogą dać tej samej dokładności, co metoda fotoelektryczna lub metoda kresu widma. Trudności doświadczalne są szczególnie duże przy użyciu metali alkalicznych. Najdokładniejsze stosunkowo wyniki dały eksperymenty, dotyczące pary rtę-

ciowej, która była przedmiotem najliczniejszych badań. Znaleziono, że przy potencjale = 4.90 wolt wysyłana jest linja rezonansowa $\lambda = 2537\ A$; zważywszy, że pomiędzy długością fali $\lambda$ a częstością drgań zachodzi związek

$\lambda = \frac{c}{\nu}$, gdzie $c$ oznacza prędkość światła, mamy

$$h = V . e \frac{\lambda}{c} = \frac{4.90}{300} \times 4.774 \times 10^{-10} \times \frac{2537 \times 10^{-8}}{3 \times 10^{10}} = 6.59 \times 10^{-27} erg. sek.$$

W obliczeniu tem posługiwaliśmy się jednostkami elektrostatycznemi (ob. str. 338). Różnica pomiędzy tą wartością $h$, a poprzednio przytoczonemi (str. 350 i 353) zaledwie dochodzi do $^1/_2{}^0/_0$. Zupełnie zadawalającą zgodność teorji z doświadczeniem otrzymano i w badaniach nad innemi metalami: tak w przypadku żółtej linji sodu wzór kwantowy daje na potencjał rezonansowy 2.09 $V$, gdy z doświadczenia otrzymano 2.12 $V$; w przypadku czerwonej linij potasowej z teorji wynika 1.61 $V$, a doświadczenia elektryczne dały 1.63 $V$ i t. d.

Rozpatrzyliśmy głównie sprawę promieniowania rezonansowego. Nadmieniliśmy jednak (str. 376), że w ostatnich latach udało się pobudzać zapomocą elektronów powolnych i inne linje widmowe. Teorja budowy atomu i emisji linij widmowych (ob. jeden z następnych rozdziałów tej książki) pozwala przewidzieć teoretycznie wielkość potencjałów niezbędnych do tych pobudzeń; odnośne obserwacje dały materjał potwierdzający teorję. Teorja pozwala między innemi obliczać na podstawie danych, dotyczących seryj widmowych, tak zwane potencjały jonizacyjne. Chodzi tu o nadanie elektronowi pobudzającemu takiego pędu, by, uderzając w atom, mógł spowodować rozpad jego na część dodatnią i ujemną.

Obserwuje się potencjały jonizacyjne w sposób analogiczny do potencjałów rezonansowych. Zazwyczaj jednak daje się takie urządzenie, iż elektrometr lub galwanometr pokazują, przy jakiej różnicy potencjałów, przyśpieszającej elektrony, pojawiają się pierwsze jony dodatnie. Poprzestaniemy na kilku liczbach. Tak potencjał jonizacyjny rtęci obliczony na podstawie danych widmowych powinienby odpowiadać 10, 39 $V$, gdy obserwacja dała 10.4 $V$; potencjał jonizacyjny sodu znaleziony wynosi 5.13 wolta, obliczony — 5.12 $V$; w przypadku potasu obserwacja daje 4.1, teoretycznie powinno być 4,32 wolta.

Prawda, że materjał zdobyty w dziedzinie jonizacji dotyczy głównie gazów i par jednoatomowych. W przypadku gazów i par wielo-

atomowych komplikuje sprawę okoliczność, że cząsteczki pod wpływem zderzeń z elektronami mogą ulegać rozpadowi, dyssocjacji; interpretacja doświadczeń staje się zawiła i wątpliwa. Jest jednak rzeczą interesującą, że w gazach termicznie zdyssocjowanych występują stosunki te same, co i w gazach jednoatomowych; np. w wodorze jednoatomowym obserwowano zjawiska dokładnie odpowiadające teorji B o h r'a, która właśnie w przypadku wodoru jednoatomowego jest nader prosta i ścisła.

Tak więc promieniowanie i jonizacja pod wpływem zderzeń z elektronami powolnemi dają kwantowej teorji emisji światła trwały punkt oparcia.

### F. Zestawienie wartości stałej Planck'a.

Widzieliśmy, że nader różnorodne zjawiska dają się sprowadzić do kwantów. Podajemy niżej [1]) tabelkę wartości stałej $h$, które wynikają z doświadczeń w różnych dziedzinach badań nad promieniowaniem.

| | | |
|---|---|---|
| Promieniowanie ciała czarnego . . . . . | $6.55 \times 10^{-27}$ | erg. sek. |
| Zjawisko fotoelektryczne . . . . . . . . . | 6.58 | „ |
| Potencjał rezonansowy i potencjał jonizacyjny (wartość przeciętna) . . . . . . . . . . | 6.55 | „ |
| Kres widma ciągłego Röntgenowskiego . . . | 6.56 | „ |
| Bohra teorja linij widmowych [2]) . . . . . | 6.55 | „ |

Tabela nie wymaga komentarzy, liczby mówią same za siebie.

---

$E = h\nu$ $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{sek}$
erg = h·sek⁻¹
h = erg·sek.

---

[1]) Opierając się na zestawieniu R. Ladenburga w ostatnio wydanym tomie Tablic Landolta-Börnstein'a. (Erster Ergänzungsband, Springer, 1927, s. 320).

[2]) P. rozdział poświęcony budowie atomu.

## Rozdział X.

## FALE MATERJI.

W POPRZEDNIM rozdziale zapoznaliśmy się z teorją kwantów. Widzieliśmy, że w pewnych przypadkach, np. w zjawiskach interferencji, dyfrakcji, światło posiada wszelkie cechy fal i tylko ze stanowiska teorji falowej daje się ująć w formę matematyczną; w innych — ujawnia się nam w postaci fotonów, stanowiących biegnące z prędkością światła pociski energji. Od lat kilkunastu trwa praca nad usunięciem dualizmu w pojmowaniu zjawisk świetlnych. Do najdonioślejszych należały w tej dziedzinie badania Ludwika de Broglie [1]. Dały one jednak wynik ostateczny przeciwny zamierzeniom pierwotnym: dualizm nie został usunięty, lecz raczej — pogłębiony i rozszerzony na takie dziedziny, któreśmy dotychczas zwykli byli pojmować całkiem jednoznacznie.

Kwanty są rodzajem pocisków energji; ze względu na oddziaływanie światła na materję można im przypisać określoną masę i impuls. Aby powiązać kwanty z falami, starał się de Broglie wykazać przedewszystkiem, że ruchowi każdej cząstki materjalnej można podporządkować pewną falę. Rozważania niezbyt skomplikowane, oparte na relatywizmie, pozwoliły ustalić, że pociskowi materjalnemu o masie $m$ i prędkości $v$, a zatem — o pędzie $mv$, odpowiada fala, której długość $\lambda$ daje wzór

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad (1)$$

---

[1]) Rodzina de Broglie'ów (czyt. de Brojl) dała Francji w przeszłości licznych wodzów, dyplomatów, mężów stanu. W naszych czasach zasłynęli swemi pracami naukowemi dwaj przedstawiciele tego rodu: Maurycy książę de Broglie, członek Akademji Paryskiej, któremu badania eksperymentalne w dziedzinie promieni Röntgena dały sławę światową, i Ludwik de Broglie, teoretyk, który wprowadził do nauki pojęcie o falach materji i dał podwaliny mechaniki undulacyjnej. W roku 1929 otrzymał Ludwik de Broglie (ur. w r. 1892) nagrodę Nobla. Na str. 383 umieszczono podobiznę znakomitego uczonego; zawdzięczamy ją uprzejmości P. de Broglie

we wzorze tym $h$ oznacza znaną nam już stałą Planck'a (ob. str. 381).

Fale, związane z ruchem materji, uważał de Broglie tylko za wybieg teoretyczny, pojęcie pomocnicze. Wkrótce wszakże, bo w trzy lata po ogłoszeniu pierwszej na ten temat rozprawy de Broglie'a, dwaj Amerykanie, Davisson i Germer [1]), stwierdzili doświadczalnie istnienie fal materji, których długość odpowiadała wyżej podanemu wzorowi teoretycznemu.

Odkrycie fal materji otworzyło myśli ludzkiej nowe horyzonty. Okazało się, że niepokojąca dwoistość istnieje nie tylko w dziedzi-



Ludwik de Broglie

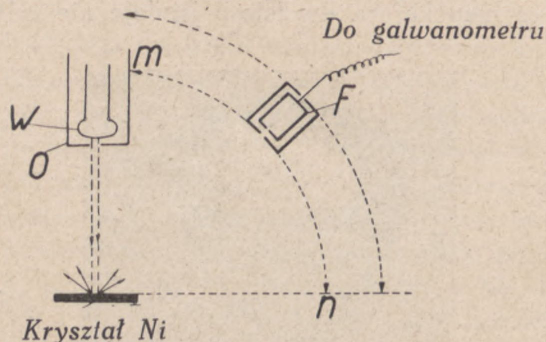
nie światła. Poruszający się elektron czy też atom posiada bądź charakter pocisku materjalnego, bądź też charakter fali. Sprzężenie cech sprzecznych w jednem zjawisku jest dla umysłu naszego zgoła niepojętem. Być może, że za tą dwoistością kryje się wszechogarniająca jedność, całość. Narazie jednak jest to tylko domniemanie, pozbawione konkretnej podstawy.

Wobec tego wszakże, iż umysłowość ludzka posiada wyraźną tendencję ujmowania zjawisk w jednolitą, harmonijną całość, należy się spodziewać, że pogląd dualistyczny na światło i materję będzie

---

[1]) Rozprawa ogłoszona w Physical Review w roku 1927; na str. 387 dajemy wyjątek z tej pracy.

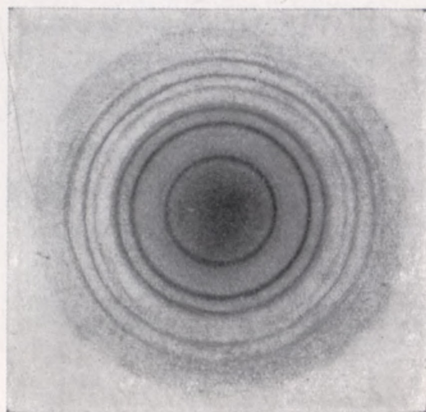
tylko epizodem przemijającym w historji fizyki. Zwrócono jednak uwagę na to, że w dziedzinie psycho-fizycznej dualizm zachował się od wieków i nie widać narazie żadnego zeń wyjścia. Świat fizyczny wiąże się niewątpliwie ze światem psychicznym; uszkodzenie mechaniczne mózgu najgenjalniejszej jednostki powoduje zupełnie określone zaburzenia psychiczne. Z drugiej strony nie podobna nie uznać zjawisk psychicznych za fenomeny zasadniczo odmienne od fizycznych, w każdym razie nie wiążące się z nimi ściśle przyczynowo.



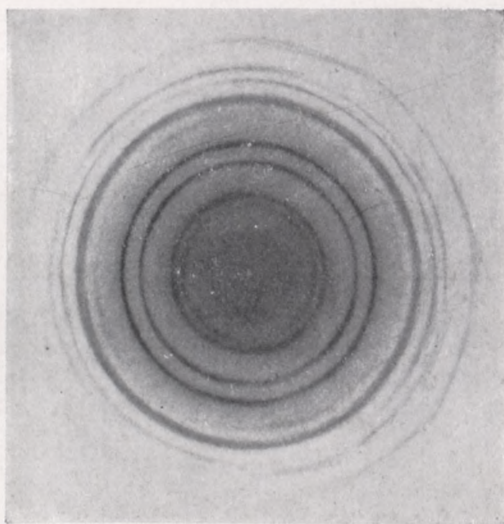

Rys. 108.
Schemat przyrządu Davissona i Germera do badań nad dyfrakcją elektronów.

Istnieje teorja parallelizmu psychofizycznego, według której obydwie kategorje zjawisk przebiegają równolegle, nie zazębiając jednak o siebie. Możnaby swojego rodzaju parallelizm upatrywać pomiędzy falami z jednej strony a kwantami i elektronami z drugiej.

Zasadnicze odkrycie Davissona i Germera zostało dokonane w sposób następujący. Źródłem elektronów była żarząca się tasiemeczka wolframowa *w* (rys. 108), zamknięta w osłonie metalowej *o*, posiadającej niewielki otwór. Pomiędzy tasiemeczką a osłoną wytwarzano określoną różnicę potencjałów, naogół nieprzewyższającą kilkuset wolt. Elektrony, posiadające pęd, wytworzony przez pole elektryczne, poza otworkiem *o* biegną już z prędkością stałą. Uderzają one o kryształ niklu, padając nań normalnie, i ulegają rozpraszaniu we wszystkich kierunkach. Ilość promieni rozpraszanych w danym kierunku można określić zapomocą wiaderka Faraday'a, połączonego z galwanometrem. Wiaderko miało podwójne ścianki, oddzielone od siebie izolacją; zewnętrzna ścianka metalowa służyła tyl-

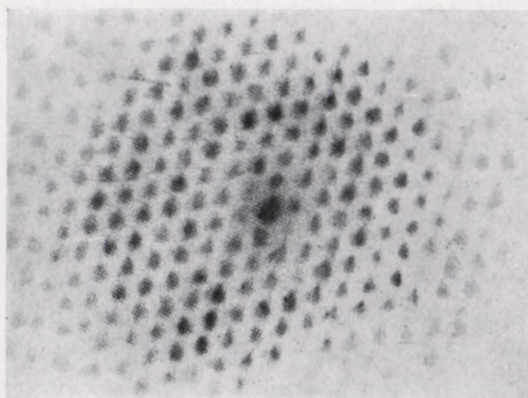


Rys. 109 *a*.



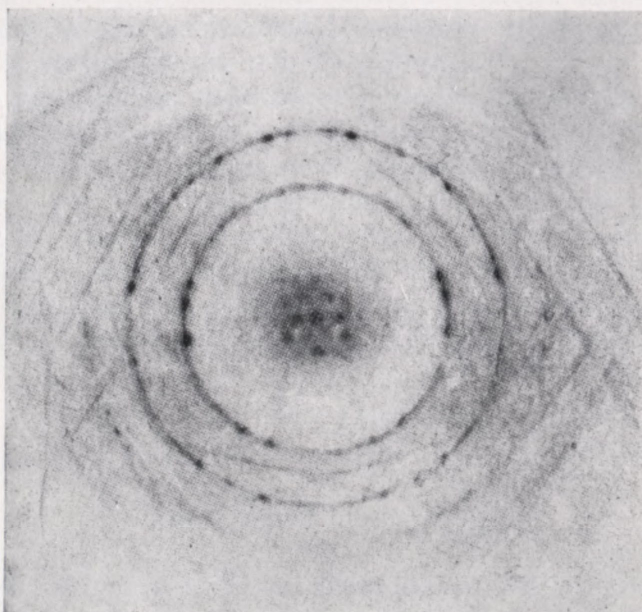
Rys. 109 *b*.

Pierścienie interferencyjne, otrzymane przez F. K i r c h n e r a przy przechodzeniu elektronów przez cienką warstewkę kamfory (109 *a*) i złota (109 *b*).



Rys. 110.

Figura interferencyjna, otrzymana przez K i k u c h i'ego przy przejściu jednorodnych 30000 woltowych elektronów przez b. cienką mikę (grubość rzędu $10^{-5}$ cm).



Rys. 111.

Figura interferencyjna przy przejściu niejednorodnej wiązki szybkich elektronów przez blaszkę miki grubości ok. $10^{-4}$ cm. (K i k u c h i).

ko do ochrony wiaderka od zakłóceń elektrostatycznych. Urządzenie mechaniczne aparatury pozwalało obracać wiaderko w płaszczyźnie rysunku wzdłuż łuku koła *mn* (p. rys. 108); prócz tego można było je obracać [1]) koło osi przechodzącej przez wiązkę promieni elektronowych. Wskazane ruchy wiaderka dawały możność badania rozkładu przestrzennego elektronów rozpraszanych przez kryształ. Okazało się, że rozkład elektronów w przestrzeni nie jest ciągły; istnieją wyraźne maxima i minima, rozmieszczone tak, jak plamki w obrazie dyfrakcyjnym promieni *X*, otrzymanem metodą L a u e g o. Zjawisko można zresztą fotografować, gdyż elektrony działają na kliszę fotograficzną. Uczynili to późniejsi badacze. Na rys. 109 *a*, 109 *b*, 110 i 111 (tab. VII i VIII) znajdzie czytelnik zdjęcia dyfrakcyjne, dokonane przez F. K i r c h n e r a i przez Japończyka K i k u c h i'ego. W badaniach obu tych uczonych elektrony przechodziły przez cienkie warstewki złota, kamfory i miki. Jeżeli porównamy zdjęcia te z obrazami dyfrakcyjnemi, jakie dają promienie Röntgena, będziemy musieli się zgodzić, że ogólne cechy zjawiska są w obu przypadkach analogiczne. Niepodobna pomyśleć, by ładunki ujemne elektronów mogły się w pewnych kierunkach znosić a w innych wzmacniać. Wytłumaczenie faktów znaleźć można jedynie w wyobrażeniu o oddziaływaniach wzajemnych fal d e B r o g l i e'a.

Teorja tego uczonego daje możność nietylko jakościowego, lecz i ilościowego opanowania zjawisk. Według wzoru (1), na str. 382, długość fali można obliczyć, wychodząc z następujących danych: stała Planck'a $h = 6.55 \times 10^{-27}$ erg. sek.; masa powolnych elektronów $m = 8.98 \times \times 10^{-28}$ gr.; prędkość elektronu $v$ można obliczyć, znając różnicę potencjałów $V$, która mu nadaje pęd. Albowiem, gdy ładunek elektronu $e$ poddany jest działaniu różnicy potencjałów $V$, praca sił elektrycznych przechodzi w energję kinetyczną elektronu według wzoru

$$eV = \tfrac{1}{2} mv^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Znajdziemy stąd łatwo, że

$$mv = \sqrt{2emV} \text{ i } \lambda = \frac{h}{\sqrt{2emV}} \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Ładunek elektronu (ładunek elementarny) $= 4.77 \times 10^{-10}$ jednostek elektrostatycznych *C. G. S.*; masę elektronu podaliśmy wyżej; różnicę potencjałów dają przyrządy miernicze zazwyczaj w woltach.

[1]) Obracano właściwie kryształ, co na jedno wychodzi.

Wolty zamieniamy na jednostki elektrostatyczne, pamiętając, że $1\,V = \frac{1}{300}$ jedn. el. stat. *C. G. S.* Przypuśćmy, że różnica potencjałów, przyśpieszająca elektrony, wynosi 300 *V*.

Według wzoru (3) znajdujemy $\lambda = 0.707 \times 10^{-8}$ cm. $= 0.707$ Å. Długość fal de Broglie'a odpowiada istotnie długości fal promieni Röntgenowskich. Analogja obrazów dyfrakcyjnych wydaje się nam naturalną.

Wiadomo, że w badaniu długości fali promieni *X* najdokładniejsze wyniki daje metoda Braggów, polegająca na interferencji fal odbitych od powierzchni kryształu (p. rozdz. o prom. Röntgena). Zjawiska są wtedy prostsze, interpretacja łatwiejsza, dokładność znacznie większa, niż w metodzie Lauego. Dr. Szczepan Szczeniowski, pracując w Zakładzie Fizycznym Uniwersytetu Warszawskiego, pierwszy podjął badania nad interferencją elektronów, stosując metodę Braggów [1]). Aparatura P. Szczeniowskiego w zasadzie była podobna do aparatury Davissona i Germera. W próżni możliwie daleko posuniętej znajdowała się tasiemeczka wolframowa; żarząc ją, wytwarzano elektrony, które przyśpieszano zapomocą pola elektrostatycznego. Wiązka elektronów padała na kryształ bizmutu. Wiaderko Faraday'a ustawiano tak, że kąt padania elektronów był równy kątowi odbicia. Wiaderko Faraday'a było połączone z elektrometrem kwadrantowym, którego odchylenia wykazywały liczbę elektronów odbitych pod danym kątem. Okazało się, że podobnie, jak w przypadku promieni Röntgena, odbicie ma charakter selektywny; maxima odbicia odpowiadają wzorowi Braggów

$$n\lambda = 2\,d \sin\alpha\,,$$

znanemu z teorji fal Röntgenowskich. P. Szczeniowski porównał wyniki bezpośrednich pomiarów z długością fali $\lambda$, otrzymaną z wzoru de Broglie'a (wzór (1), str. 382). Poniższa tableka została wzięta z pracy oryginalnej.

Przekonywamy się, że zgodność wartości zmierzonych z obliczonemi teoretycznie jest naogół zadawalająca, tembardziej, że dokładność tego rodzaju pomiarów ze względu na wielkie trudności eksperymentalne nigdy nie może być duża. Widać jednak z tabelki, że

---

[1]) Sprawozdanie i Prace Polskiego Towarzystwa Fizycznego, tom III, zeszyt 4, str. 405. Wyniki były również ogłoszone w Sprawozdaniach Akademji Paryskiej (tom 187, str. 106, rok 1928).

| V różnica pot. w woltach | λ zmierzone w jedn. Å | λ obliczone w jedn. Å |
|---|---|---|
| 62 | 1.48 | 1.55 |
| 139 | 1.02 | 1.04 |
| 240 | 0.78 | 0.79 |

odchylenia od teorji rosną ze zmniejszeniem prędkości elektronów. P. Szczeniowski tłumaczy to załamaniem fal elektronowych w krysztale. Załamanie zostało stwierdzone (również metodami pośredniemi) i przez innych badaczy.

Nadmienimy wreszcie, że fizykowi niemieckiemu E. Ruppowi udało się otrzymać uginanie elektronów na siatkach dyfrakcyjnych metalowych, przyczem, jak i w doświadczeniach Thibaud z promieniami Röntgena, rzucał on wiązkę elektronów niemal stycznie do powierzchni siatki. Niedawno (rok 1930) obserwował Rupp asymetrję odbicia elektronów od dwu zwierciadeł złotych, przypominającą polaryzację światła. Jednak prawo tej asymetrji jest odmienne od praw, którym podlega polaryzacja światła.

## O uginaniu się elektronów na krysztale niklu

przez C. Davissona i L. H. Germera[1]).

Badania, które komunikujemy w niniejszej rozprawie, zostały rozpoczęte w związku z wypadkiem, który wydarzył się w naszem laboratorjum w kwietniu r. 1925. W tym czasie zajmowaliśmy się w dalszym ciągu poszukiwaniami, których pierwsze wyniki były przez nas podane do wiadomości publicznej w r. 1921[2]); praca dotyczyła rozkładu w przestrzeni elektronów rozpraszanych przez płytkę zwykłego (wielokryształowego) niklu. W toku doświadczeń, gdy płytka była ogrzana do wysokiej temperatury, eksplodowała butla z ciekłem powietrzem. Rura, służąca do doświadczeń, stłukła się, a powietrze które się wdarło do aparatu, silnie utleniło nikiel. Dopiero po długotrwałem wygrzewaniu płytki w różnych wysokich temperaturach, tak

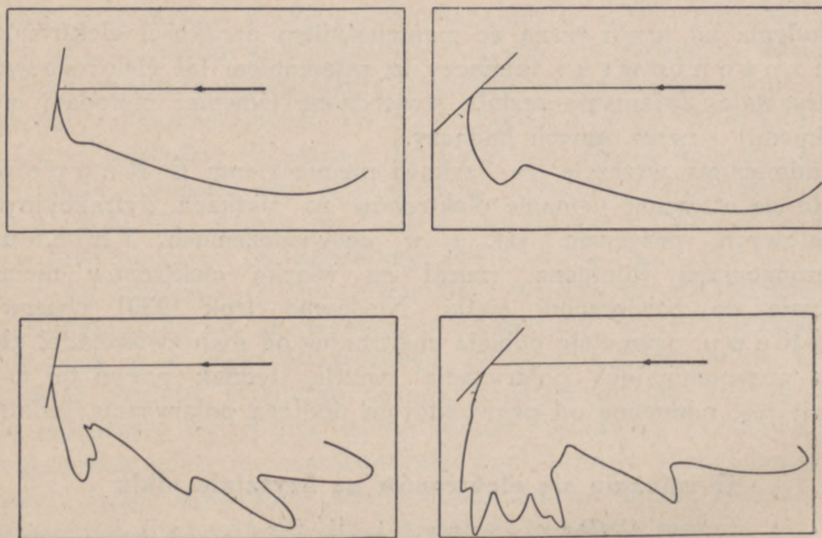
[1]) Diffraction of electrons by a crystal of nickel by C. Davisson and L. H. Germer, Physical Review, 1927, t. *30*, str. 705.

[2]) Davisson and Kunsman, Science *64*, 522 (1921).

w atmosferze wodoru, jak i w próżni, zdołano tlenek zredukować i usunąć warstwę powierzchniową kryształu drogą odparowania.

Powróciwszy do doświadczeń pierwotnych, znaleźliśmy, że rozkład przestrzenny elektronów rozproszonych uległ zupełnej zmianie. Typowe krzywe, wykazujące zmianę, zostały podane na rys. 112; potencjał, przyśpieszający elektrony, wynosił 75 *V*.

Wiązka elektronów, padająca na kryształ, biegnie od prawej ręki ku lewej. Wektory poprowadzone z miejsca, na które padają bom-



Rys. 112.

Górne figury odpowiadają rozpraszaniu elektronów 75 woltowych na płytce niklu, składającej się z bardzo wielu drobnych kryształków; dolne dotyczą rozpraszania na płytce sformowanej z niewielu dużych kryształów.

bardujące elektrony, do odpowiednich punktów krzywych, dają natężenie rozpraszania w różnych kierunkach. Górne krzywe (odpowiadające różnym kątom padania) charakteryzują oddziaływanie płytki przed wypadkiem. Należą one do typu, opisanego w pracy, umieszczonej w „Science" w r. 1921, i są podobne do krzywych, które były otrzymane dla niklu w czterech lub pięciu innych eksperymentach. Dolne krzywe, otrzymane po wypadku, są pierwszemi w tym rodzaju, jakie wogóle obserwowano. Wydatną zmianą w charakterze rozpraszania przypisaliśmy przekrystalizowaniu płytki w czasie dłu-

gotrwałego ogrzewania. Przed wypadkiem i w poprzednich eksperymentach bombardowaliśmy liczne małe kryształki; w doświadczeniach po wypadku ostrzeliwaliśmy elektronami niewielką liczbę dużych kryształów. W przypadku rozpatrywanym było ich około dziesięciu.

Na podstawie tych wyników wydawało się prawdopodobnem, że natężenie rozpraszania elektronów przez pojedyńczy kryształ wykaże wydatną zależność od kierunku wziętego w krysztale; niezwłocznie tedy przystąpiliśmy do przygotowania doświadczeń dla zbadania tej zależności. Musimy przyznać, że wyniki otrzymane w eksperymentach okazały się zgoła odmiennemi od naszych oczekiwań. Wydawało się nam, że silne wiązki promieni elektronowych będą wychodzić z kryształu wzdłuż kierunków, które należałoby nazwać kierunkami przezroczystości, — mamy na myśli kierunki, w których atomy siatki krystalicznej tworzą na jednostkę powierzchni najmniejszą liczbę linij. Okazało się, że silne wiązki istotnie wychodzą z kryształu, lecz wówczas jedynie, gdy prędkość pocisków elektronowych leży wpobliżu jednej z wartości krytycznych; lecz i wtedy — kierunki silnych wiązek nie mają żadnego związku z przezroczystością kryształu.

Najbardziej charakterystyczną cechę wiązek elektronowych stanowiło to, że najsilniejsze z nich, jak zaraz opiszemy, odpowiadają jednoznacznie wiązkom L a u e g o, które wychodziłyby z danego kryształu, gdyby nań padał pęczek promieni *X*. Inne znów wydają się analogiczne nie do wiązek L a u e g o, lecz do wiązek optycznie ugiętych na płaskich siatkach dyfrakcyjnych, przyczem linjami tych siatek są linje lub rzędy atomów na powierzchni kryształu. Na skutek tego podobieństwa pomiędzy rozpraszaniem elektronów przez kryształ a rozpraszaniem fal przez siatki dwu- lub trójwymiarowe, jest rzeczą nietylko możliwą, lecz najprostszą i najbardziej naturalną opisywać występowanie i zachowanie się wiązek dyfrakcji elektronowej, posługując się terminami, zapożyczonemi z rozpraszania przez atomy kryształu równoważnej fali promieniowania, której promienie ulegałyby następnie interferencji. Tkwi w tym sposobie przyporządkowanie padającej wiązce elektronów pewnej długości fali; okazuje się, że ta długość fali znośnie zgadza się z wartością mechaniki undulacyjnej $h/mv$, gdzie w liczniku mamy P l a n c k'a stałą działania, a w mianowniku — pęd elektronu.

Wkrótce po ukazaniu się oryginalnych rozpraw L. d e B r o g l i e'a, dotyczących mechaniki undulacyjnej, dwa lata temu mianowicie,

przepowiedział E l s a s s e r [1]), że charakter falowy mechaniki cząstek powinienby się dać wykazać w oddziaływaniu pojedyńczego kryształu na wiązkę elektronów. E l s a s s e r mniemał faktycznie, że dowody tego już się ma w ręku, rozpatrując krzywe, dotyczące rozkładu przestrzennego elektronów, rozproszonych przez płytkę platynową wielokrystaliczną, — krzywe, któreśmy podali w publikacjach tutejszego Laboratorjum [2]). Niestety, nie możemy się zgodzić na interpretację E l s a s s e r a, choć radzibyśmy to uczynić. Maxima krzywych rozpraszania przez platynę są typu pojedyńczych maximów, które widzimy na krzywych niklu, pokazanych w górnej połowie rys. 112; nie mają one, zdaniem naszem, żadnego związku ze strukturą kryształu.

Przedwstępną wiadomość o głównych wynikach zawartych w pracy niniejszej, podaliśmy w „Nature" z dnia 16-go kwietnia 1927. Na tem miejscu bardziej szczegółowo zdajemy sprawę z eksperymentów i przytaczamy dane uzupełniające.

Dalej autorowie szczegółowo i krytycznie opisują eksperymenty i roztrząsają ich wyniki. Króciutkie streszczenie opisu metody podaliśmy na str. 384.

---

[1]) W. E l s a s s e r, Naturwiss. *13*, 711 (1925).

[2]) D a v i s s o n and K u n s m a n, Phys. Rev., *22*, 242 (1923).

## DZIAŁ V.

## OPTYKA CIAŁ W RUCHU BĘDĄCYCH. CIŚNIENIE ŚWIATŁA. TEORJA WZGLĘDNOŚCI.

## Rozdział XI.

### O WPŁYWIE RUCHU CIAŁ NA ZJAWISKA OPTYCZNE [1]).

W ROKU 1727 dokonał astronom angielski Bradley ważnego odkrycia. Obserwując systematycznie pozycje gwiazd stałych, dostrzegł, iż posiadają one pewien ruch własny na sklepieniu niebieskiem; ruch ten okazał się perjodycznym. Był on różny dla gwiazd różnych, zależnie od ich położenia względem ekliptyki, t. j. płaszczyzny, w której porusza się ziemia. Droga zakreślana jest wogóle eliptyczna; przechodzi ona w przypadkach szczególnych w kolistą i prostolinjową, przyczem okres ruchu odpowiada okresowi obiegu naokoło słońca. Mówią, że prosty traf naprowadził Bradley'a na szczęśliwą myśl, która pozwoliła mu wyjaśnić te zagadkowe ruchy gwiazd. Jadąc łódką, miał zwrócić uwagę na to, że chorągiewka ustawia się nie w kierunku wiatru, lecz w kierunku wypadkowej ruchu powietrza i ruchu łódki. Nasunęła mu się analogja. Światło przebiegające lunetę posiada prędkość własną, prócz tego jednak i luneta jest unoszona przez ziemię z jej prędkością. Ostateczny kierunek promieni musiał odpowiadać wypadkowej [2]) tych dwu ruchów. Promień światła doznaje pozornego przesunięcia, uwarunkowanego przez prędkość własną ziemi.

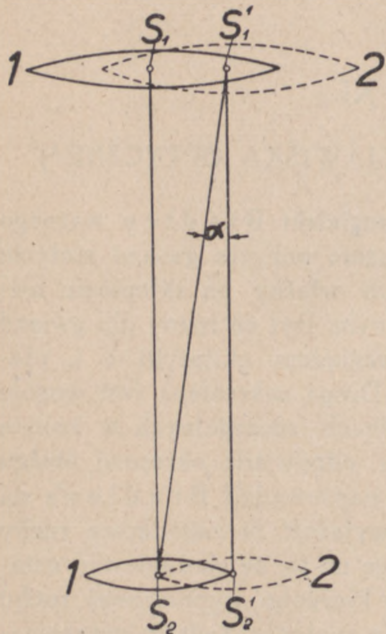
Rozpatrzmy rzecz bliżej na rys. 113. Wyobraźmy sobie promień $S_1$ $S_2$, któryby przechodził symetrycznie przez środek objektywu $S_1$ i okularu $S_2$, gdyby obydwa szkła były nieruchome. Na przebycie przez światło drogi $S_1$ $S_2$ potrzebny jest pewien czas $t$. Oznaczając prędkość światła przez $V$, mamy $S_1 S_2 = Vt$. W ciągu czasu $t$ przesunie się jednak, wskutek ruchu ziemi, i luneta. Przesunie się o $S_2 S_2' = vt$, gdzie $v$ oznacza prędkość ziemi. Promień świetlny, jak

---

[1]) Przedstawiliśmy poniżej te fakty z dziedziny optyki ciał poruszających się, które mają jak najbliższy związek z teorją względności. Pominęliśmy zjawisko Dopplera, którego elementarne ujęcie dają podręczniki szkolne.

[2]) Dodając wektory, musimy wziąć prędkość ziemi ze znakiem ujemnym.

widać z rysunku, upadnie na brzeg okularu. Obserwator szukać będzie źródła świetlnego na linji, łączącej środek optyczny objektywu z punktem $S_2$. Będzie zatem sądził, że promienie tworzą z osią optyczną przyrządu kąt $\alpha$. Ten kąt $\alpha$ można wyznaczyć z $\triangle\ S_2 S_1' S_2'$;




Rys. 113.
Elementarne wyjaśnienie aberracji światła.

$$tg\alpha = \frac{S_2S_2'}{S_1'S_2'} = \frac{vt}{Vt} = \frac{v}{V};$$

Podług nowszych spostrzeżeń

$$\alpha = 20'',5;$$

ze względu na małą wartość liczbową, można wziąć zamiast stycznej sam kąt, wyrażony w radjanach; podstawiając do równania powyższego prędkość ziemi w jej ruchu nakoło słońca, otrzymamy prędkość światła

$$V = 299900 \frac{Km.}{sek.},$$

co się doskonale zgadza z bezpośredniemi pomiarami ziemskiemi [1]).

Odkrycie tego zjawiska, które nazwano aberracją gwiazd stałych, było punktem wyjścia dla dalszych badań nad wpływem ruchu ciał na zjawiska optyczne. Te badania należą już do wieku XIX. Czyniono wiele prób, by wykazać wpływ ruchu ciał na zjawiska bądź załamania, bądź interferencji, bądź załamania podwójnego lub też skręcenia płaszczyzny polaryzacji. Próby te były bezskuteczne. Wynik dodatni dało dopiero doświadczenie F i z e a u w r. 1851.

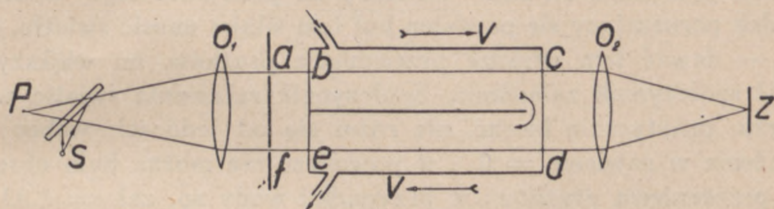
Schemat doświadczenia F i z e a u jest przedstawiony na rys. 114. Promienie światła, wychodzące z S, po odbiciu od szyby szklanej [2]),

---

[1]) Podana tu elementarna teorja aberracji nie wyczerpuje zagadnienia. Zgodnie z rozumowaniem naszem, kąt aberracji powinien być większy w lunecie napełnionej wodą, gdyż prędkość światła w wodzie jest mniejsza, niż w powietrzu. Astronom angielski A i r y w połowie XIX-go stulecia przekonał się jednak, że, po napełnieniu lunety wodą, aberracja nie ulega zmianie. Teorje fizyczne, głębiej ujmujące związki pomiędzy zjawiskami, np. teorja elektronowa H. A. L o r e n t z'a, teorja względności, tłumaczą ten fakt.

[2]) Czytelnik zechce poprawić błąd rysownika w przedstawieniu odbicia promieni od płytki szklanej.

ustawionej pod kątem 45°, padają na objektyw achromatyczny $O_1$, który nadaje im bieg równoległy. Następnie promienie, po przejściu przez otworki *a* i *f*, wchodzą do naczynia, zawierającego poruszającą się ciecz. Jak widać z rysunku, promień górny biegnie z prądem, promień dolny — przeciwko prądowi. Po wyjściu z naczynia obydwa promienie padają na objektyw $O_2$ (achromatyczny), który je skupia w swem ognisku; w miejscu zbiegania się promieni ustawione jest zwierciadło płaskie *z*, które odbija promienie tak, iż promień górny idzie dawną drogą dolnego, a dolny — dawną drogą




Rys. 114.
Schemat doświadczenia F i z e a u.

górnego. Kierunek ich biegu jest jednak teraz odwrotny. Tym sposobem promień *abczdef* zawsze będzie biec zgodnie z prądem cieczy, natomiast promień *fedzcba* — przeciwko prądowi. W okolicy *P* promienie, powracające po odbiciu od zwierciadła *z*, wytwarzają prążki interferencyjne. Jeżeli ruch ośrodka przezroczystego wpływa na bieg promieni świetlnych, należy oczekiwać przesunięcia prążków interferencyjnych. Przesunięcie obserwowano zupełnie wyraźnie. Gdy długość naczynia, zawierającego poruszającą się wodę, wynosiła 1.487 metra, a prędkość wody równała się 7 m/sek., przesunięcie wynosiło przeciętnie 0.23 prążka, przyczem odchylenia poszczególnych obserwacyj od średniej dochodziły do 20%. Teorja, którą dał F r e s n e l, przewidywała przesunięcie równe 0.20 prążka. Przy zastąpieniu wody przez powietrze nie obserwowano ani śladu przesunięcia prążków, choć prędkość prądu powietrza można było doprowadzić do 25 m/sek.; teorja F r e s n e l a przewidywała w tym przypadku efekt dla oka niedostrzegalny.

Doświadczenia F i z e a u powtórzyli w roku 1886 M i c h e l s o n i M o r l e y. Nadali oni aparaturze imponujące rozmiary. Woda wypływała ze zbiornika o pojemności kilku tysięcy litrów, wzniesionego ponad poziom sali laboratoryjnej na 23 metry. Długość rurek, które przebiegało światło, wynosiła 6 metrów. W tych warun-

kach osiągnęli Michelson i Morley b. dobrą dokładność i w granicy 1°/₀ mogli dowieść prawdziwości wzoru, danego przez Fresnel'a.

Według Fresnel'a, eter światłonośny ma być częściowo nieruchomy, a częściowo unoszony przez poruszającą się materję. Oznaczmy prędkość światła w ośrodku spoczywającym przez $u$ i prędkość ośrodka przez $v$; prędkość fal świetlnych w ruchu ma wynosić, według teorji Fresnel'a, $u' = u + v(1 - \frac{1}{n^2})$, gdzie $n$ oznacza spółczynnik załamania światła. Widzimy na podstawie tego wzoru, że ośrodek poruszający się powinien był tem silniej unosić światło, a zatem — dawać tem większe przesunięcie prążków, im większy posiadał spółczynnik załamania. Spółczynnik załamania światła w powietrzu, praktycznie biorąc, nie różni się od jedności; wobec tego wyrażenie w nawiasie = 0, i w powietrzu nie można było obserwować przesunięcia prążków; w przypadku wody sp. zał. = 1.33; obserwowany efekt odpowiadał tej wartości, zgodnie z wyżej podanym wzorem.

Choć wzór Fresnel'a niewątpliwie czynił zadość wynikom eksperymentów, jednak interpretacja zjawiska, podana przez genjalnego badacza, nie wytrzymywała ściślejszej krytyki. Widzieliśmy, że unoszenie eteru powinno było zależeć od spółczynnika załamania; spółczynnik załamania zależy znów od barwy światła użytego, od długości fali. Wynikało stąd, że dany ośrodek materjalny niejednakowo pociąga za sobą eter, zależnie od barwy światła przechodzącego, co jest rzeczą nie do pomyślenia.

Teorję Fresnel'a zmodyfikował w nader szczęśliwy sposób H. A. Lorentz, zakładając, że eter jest absolutnie nieruchomy, a materja unosi elektrony, pociągając za sobą nie eter, lecz — fale świetlne. Teorja Lorentz'a prowadzi do wzoru identycznego z wzorem Fresnel'a. Daje ona też zupełne wytłumaczenie szeregu innych zjawisk optycznych w ciałach poruszających się.

Zauważymy mimochodem, że Stokes rozwinął w r. 1845 teorję zjawisk optycznych z gruntu oryginalną. Według niego, eter światłonośny miał być unoszony przez materję całkowicie. Jednak teorja całkowitego unoszenia światła prowadzi do wniosku, że eksperyment Fizeau powinien był dać przesunięcia prążków przy użyciu powietrza, co przecież się nie zgadza z doświadczeniem.

Teorja eteru nieruchomego, która obejmowała doskonale całokształt faktów, załamała się na słynnem doświadczeniu, wykonanem

przez A. Michelsona[1]). Ostatnie trudności w interpretowaniu faktów optyki ciał w ruchu będących usunęła dopiero teorja relatywizmu Alberta Einsteina, zrywająca radykalnie z przekazanym przez tradycję zespołem pojęć mechanicznych, paradoksalna również ze stanowiska zdrowego rozsądku ludzkiego.

---

[1]) O doświadczeniu Michelsona pisaliśmy krótko na str. 248; zostanie ono omówione dokładnie i szczegółowo w rozdziale XIII.

## Rozdział XII

## TEORJA WZGLĘDNOŚCI.

W MECHANICE oddawna już była znana zasada względności, zwana zasadą Galileusza. Głosi ona, że w układzie, poruszającym się ruchem jednostajnym i prostolinjowym, wszystkie zjawiska mechaniczne odbywają się dla obserwatora tak samo, jak i w układzie, znajdującym się w spoczynku. Bardzo łatwo zilustrować tę zasadę przykładami: w pociągu kolei żelaznej, biegnącym po linji prostej jednostajnie, można doskonale grać w piłkę, w bilard. Choćby wagon był wysoki na kilkanaście metrów, piłka, rzucona pionowo dogóry, spadnie nadół wzdłuż pierwotnego pionu, gdyż od samego początku posiada ona tę samą prędkość, co i wagon, poruszający się wraz z nią. Jeżeli się czytelnikowi doświadczenie powyższe nie wydaje dość przekonywującem ze względu na to, że wagony nie mają nigdy kilkupiętrowej wysokości, niech rozpatrzy inny przykład. Ziemia w swym ruchu naokoło słońca, może być uważana w przybliżeniu za ciało, poruszające się po linji prostej, gdyż w ciągu jednej minuty czasu zbacza od biegu prostolinjowego tylko o $2^1/_2$ *sekundy łuku.* Aeroplan rzadko posiada prędkość przewyższającą 240 km/godz., to jest $^1/_{15}$ km. na sekundę, gdy tymczasem prędkość ziemi w jej biegu naokoło słońca[1]) wynosi w okrągłej liczbie 30 km/sek. Gdyby aeroplan nie brał udziału w ruchu ziemi w przestrzeniach międzyplanetarnych, musiałby za nią pozostawać w tyle o tysiąc kilkaset kilometrów w ciągu minuty. Na szczęście, nie ma to miejsca. Ruch niemal prostolinjowy ziemi nakoło słońca, jak nas uczy życie i nauka, nie uwydatnia się wcale w naszych doświadczeniach mechanicznych.

---

[1]) Czytelnik łatwo znajdzie, że prędkość ziemi w ruchu naokoło osi wynosi na równiku mniej, niż $^1/_2 \frac{km.}{sek.}$.

Tak też być powinno ze stanowiska mechaniki teoretycznej. Można b. łatwo dowieść, że równania dynamiki mają we wszystkich układach, poruszających się ruchem jednostajnym i prostolinjowym, tę samą postać, co i w układzie nieruchomym. Wspominaliśmy już kilkakrotnie o układzie nieruchomym. Jednak nie potrafilibyśmy wskazać żadnego ciała materjalnego we wszechświecie, któreby można było nazwać napewno nieruchomem. Dopóki eter wszechświatowy nieruchomy stanowił zasadniczą koncepcję naukową, można go było uważać za idealny układ odniesienia. Czyby jednak było możliwem w świecie, pozbawionym materji, wyróżniać miejsca i kierunki, któreby ustalały pozycję układu współrzędnych? Wobec tego oględniej będzie sformułować zasadę względności w mechanice, mówiąc, że w układach, które się poruszają względem siebie ruchem jednostajnym i prostolinjowym, wszystkie zjawiska mechaniczne odbywają się według tych samych praw. Tak, więc, uczony, znajdujący się w laboratorjum, poruszanem w przestrzeni ruchem jednostajnym i prostolinjowym, najsubtelniejszemi nawet przyrządami mechanicznemi nie mógłby ruchu swego wykryć.

Henryk Poincaré i Einstein prawie jednocześnie [1]) próbowali uogólnić zasadę względności, rozciągając ją na całą dziedzinę elektrodynamiki i optyki i kładąc dodatkowo nacisk na to, że i prędkość światła powinna być we wszystkich kierunkach jednakowa dla obserwatorów, niezależnie od tego, z jakim układem są związani. Takie uogólnienie odrazu przemawia do przekonania: byłoby dziwnem, gdyby mechanika miała stanowić dziedzinę wyjątkową; przecież zjawiska mechaniczne ściśle splatają się z wszystkiemi innemi dziedzinami przemian fizycznych. Sformułowalibyśmy przeto naszą uogólnioną zasadę względności tak: żadnemi doświadczeniami, nie wyłączając pomiaru prędkości światła, obserwator nie może wykryć, iż układ, z którym jest związany, znajduje się w ruchu jednostajnym i prostolinjowym. Przekonywamy się jednak natychmiast, iż założenie nasze prowadzi do zupełnie osobliwego paradoksu w sprawie prędkości światła. Wyjaśni nam to prosty przykład. Wyobraźmy

[1]) Rozprawy obydwu uczonych były oddane do druku w czerwcu r. 1905; praca Poincaré'ego była nieco wcześniejsza. Obydwaj, zupełnie niezależnie od siebie, doszli do wniosku, że koniecznem jest rozciągnięcie zasady Galileusza na wszelkie zjawiska, odbywające się w układach, w ruchu będących. Gdy Poincaré więcej nacisku kładł na formalną, matematyczną stronę rozwinięcia myśli podstawowej, Einstein podjął gruntowną krytykę pojęć zasadniczych, wykazując w pierwszej linji względność pomiarów czasu.

sobie dwa układy: jeden nieruchomy, drugi posiadający względem niego prędkość $v$. W pewnej chwili, gdy punkt $O'$ układu ruchomego (p. rys. 56 na str. 252) przechodzi koło punktu $O$, z $O$ wychodzi sygnał świetlny. Fale świetlne biegną we wszystkich kierunkach z jednakową prędkością, która w układzie nieruchomym równa się $c$. Obserwator ruchomy powinien znaleźć tę samą prędkość $c$ rozchodzenia się światła, gdyż w myśl uogólnionej zasady względności nie może on żadnemi pomiarami wykryć swego ruchu. Ale jakże to jest możliwe, zważywszy, że zbliża się on do czoła fali, posiadając prędkość v, która w zasadzie może być bardzo wielka, wynosząc np. $^1/_2$ prędkości światła? Widzimy, że uogólnienie nasze prowadzi nas do wniosku oczywiście fałszywego. Wydaje się nieunikniony wywód, że założenie, które prowadzi do niedorzecznego wniosku, musi być odrzucone.

Einstein umiał jednak spojrzeć na sprawę ze stanowiska nawskroś oryginalnego. Podtrzymuje on w całości założenie, upatrując przyczynę paradoksu w tem, że wyobrażenia podstawowe kinematyki, zgodne zresztą z naszą intuicją, są fałszywe. Twierdzi on, że obserwator, doganiający fale świetlne, znajdzie dokładnie tę samą prędkość światła, co i nieruchomy, a to dla dwu powodów: 1) jego metrówki ulegają skróceniu, gdy je ułożyć w kierunku ruchu, 2) zegary w układzie ruchomym chodzą odmiennie niż w układzie spoczywającym, czas płynie tam wolniej. Te dwa czynniki kompensują zupełnie wpływ ruchu na obserwowaną prędkość światła; uczony, badający zjawiska w układzie poruszającym się, znajdzie tę samą wartość prędkości światła c, którą otrzyma też liczbowo badacz, pozostający w spoczynku.

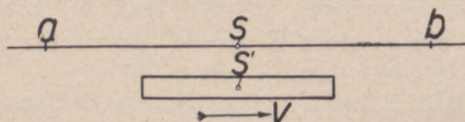
Rozpatrzmy po kolei założenia Einsteina. Na pierwszy rzut oka wydają się nam one zupełnie niedorzeczne, zdaje się nam nawet, że każde z nich z łatwością potrafilibyśmy obalić doświadczeniami lub obserwacjami. Jeżeli ciało ma ulec skróceniu, gdy je ułożymy w kierunku ruchu, to przecież i nasza ręka powinna ulec skróceniu, gdy ją przypadkowo umieścimy w kierunku ruchu ziemi naokoło słońca; powinnibyśmy dostrzec skrócenie okiem, jednak nic podobnego nie obserwujemy. Na to jest łatwa odpowiedź. Gdy obrócimy się tak, że okiem będziemy ogarniać długość ręki, wyciągniętej w kierunku ruchu, nasza gałka oczna również ulegnie skróceniu, soczewka oka spłaszczy się; dzięki temu nastąpi kompensata, skrócenia nie będziemy mogli zauważyć. Jeżeli ktoś zwróci uwagę, że zamiast metod subjektywnych należy użyć metod objektywnych i zamiast obserwo-

wać okiem, trzeba mierzyć długość przedmiotu raz, gdy jest ustawiony prostopadle do kierunku ruchu, a drugi raz, — gdy oś jego jest równoległa do kierunku ruchu, to i tu, jak pokazuje proste rozumowanie, pomiar nie posunie nas naprzód w sprawdzeniu wniosków teorji względności. Mierzenie polega na porównywaniu długości danego przedmiotu z długością sztaby wzorcowej. Przypuśćmy, że mierząc jakiś pręt metrówką w układzie spoczywającym, znajdziemy, że długość jego wynosi $l$ metrów. Gdy pręt wprawimy w ruch jednostajny i prostolinjowy w kierunku jego osi, ulegnie on skróceniu o pewien ułamek długości pierwotnej. Ponieważ jednak i metrówka, ułożona równolegle doń, w tym samym stosunku ulegnie skróceniu, przeto wynik pomiaru nie może ulec zmianie (ob. uwagę na str. 250). Każde koło w ruchu staje się elipsą spłaszczoną, każda kula — elipsoidą, każdy kwadrat — prostokątem; tej zmiany stosunków geometrycznych nie zauważy jednak obserwator ruchomy, o ile chodzi o jego własny układ. Żadne pomiary nie wykażą mu, że to jego układ porusza się ruchem jednostajnym prostolinjowym.

Natomiast obserwator, znajdujący się w spoczynku, zauważy zmiany geometryczne w układzie poruszającym się. Wzory, które wiążą współrzędne obydwu układów, są względem nich zupełnie symetryczne. Wynika stąd wniosek fizyczny taki, że jeżeli obserwator $A$, patrząc na układ obserwatora $B$, powie „poruszasz się Pan z południa na północ, metrówki Pańskie uległy skróceniu od $^1/_{20}$ milimetra każda“, to z równem prawem obserwator $B$ odrzeknie: „pomiary nie pokazują mi skrócenia, nic nie wiem o ruchu moim; widzę natomiast, że Pański układ porusza się względem mego z północy na południe i że Pańskie metrówki są o $^1/_{20}$ milimetra krótsze od moich“. Według teorji względności, obydwaj mają rację, gdyż możemy tylko konstatować ruchy względne; jeżeli układy $A$ i $B$ znajdują się względem siebie w ruchu, to z równem prawem możemy twierdzić, że $A$ jest nieruchomy, a $B$ porusza się z zachodu na wschód, jak i odwrotnie, — że $B$ jest nieruchomy, $A$ zaś porusza się w kierunku przeciwnym. Sytuacje tego rodzaju spotykamy czasem i w życiu. Gdy dwa pociągi, idące w kierunkach przeciwnych, stoją na stacji i sami znajdujemy się w jednym z nich, wówczas, gdy ruszy, naprzykład, pociąg sąsiedni, ulegamy zupełnemu złudzeniu i gotowi jesteśmy przez chwilę ręczyć, że to właśnie nasz pociąg ruszył w kierunku przeciwnym. Rozejrzawszy się w zabudowaniach stacyjnych, szybko orjentujemy się co do ruchu prawdziwego. Pomyślmy sobie jednak dwa układy w przestworzach, gdzieby wzrok nie miał żadnych stałych punktów

oparcia, a zgodzimy się, że w tym przypadku niepodobieństwem byłoby rozstrzygnąć, który układ naprawdę się porusza; można wtedy mówić tylko o ruchu względnym.

Nie mniej rażącem od skrócenia wymiarów wydaje się założenie, że niema czasu jednego jedynego, bezwzględnego, płynącego jednostajnie od nieskończoności ujemnej do nieskończoności dodatniej, jak to zakłada mechanika Newtonowska. Einstein daje przenikliwą krytykę pojęcia czau. Według naszej intuicji wewnętrznej, istnieje tylko jeden uniwersalny czas. Jednak nasze wewnętrzne poczucie jest zgoła niewystarczające do wskazania metod mierzenia czasu, a nawet do ustalenia tak elementarnej rzeczy, jak stwierdzenie, że dwa zjawiska są równoczesne. Jeżeli chodzi o zjawiska, odbywające się w naszem *najbliższem otoczeniu*, możemy łatwo orzekać o ich równoczesności; zjawiska są równoczesne, jeżeli są przez nas dostrzegane łącznie. Jeżeli powiadamy: pociąg przychodzi o godz. 12-tej w południe, znaczy to, że łącznie dostrzegamy nadejście pociągu na stację i ustawienie się wskazówki zegarka na dwunastce. Wszyscy obserwatorzy, posiadający jednakowe zegarki i znajdujący się w tem samem miejscu, zgodnie stwierdzą równoczesność zjawisk. Intuicja nasza nie wytarcza jednak, kiedy chodzi o stwierdzenie równoczesności zjawisk, odbywających się w różnych miejscach. Oto przykład. Na stacji kolejowej w punkcie $S$ znajduje się obserwator nieruchomy, który posiada urządzenie, składające się z dwu lusterek, ustawionych pod kątem, pozwalające mu obserwować zjawiska, odbywające się w $a$ i $b$; odległości $Sa$ i $Sb$ są sobie równe. Takie same urządzenie posiada obserwator $S'$, który się znajduje w pociągu szybko mknącym od lewej ku prawej z prędkością $v$. W chwili, gdy $S'$ przejeżdża koło $S$, w $a$ i $b$ uderzają dwa pioruny. Obserwator $S$ równocześnie dostrzega obie błyskawice w lusterkach i wnioskuje stąd, że pioruny uderzyły w tym samym momencie; obserwator $S'$, który jedzie na spotkanie światła, wychodzącego z $b$ i oddala się od $a$, powie, że piorun uderzył w b wcześniej, niż w $a$. Widzimy więc, że sąd o równoczesności zjawisk nie ma charakteru bezwzględnego, tem-



Rys. 115.
Względność synchronizmu zjawisk.

bardziej, że nic określonego nie możemy powiedzieć o ruchu bezwzględnym jakiegokolwiek ciała natury.

Dla fizyka rzeczą zasadniczą jest dokonywanie pomiarów ilościowych. W tej sprawie intuicja wewnętrzna mało nam może pomóc. Chcąc mierzyć czas w obrębie danego, *określonego układu*, musimy przedewszystkiem wyregulować zgodnie, synchronicznie zegary, znajdujące się w różnych punktach tego układu. Możnaby to osiągnąć w ten sposób, że wszyscy obserwatorzy, zebrawszy się w jednym punkcie, wyregulowaliby swoje zegary, poczem udaliby się zpowrotem na swoje stanowiska. Taki sposób postępowania byłby jednak niepraktyczny i budziłby wątpliwości z punktu widzenia ścisłości naukowej, gdyż możnaby sobie pomyśleć (ob. niżej str. 405), że w podróży zmienia się tempo biegu zegarów. Einstein proponuje wysyłanie sygnałów świetlnych (praktycznie równoważne byłyby sygnały radjotelegraficzne). Stacja główna $A$ nadaje swój czas, stacja $B$, otrzymawszy godzinę stacji $A$, nastawia swój zegar, biorąc pod uwagę to, że na przejście drogi $AB$ światło musiało użyć odpowiedni czas $= \frac{AB}{c}$, gdzie $c$ jest prędkością światła. Ponieważ zasada względności uważa prędkość światła za wielkość stałą, niezależną od kierunku biegu promieni, przeto wyregulowanie synchroniczne wszystkich zegarów *danego układu* jest możliwe. Rozważania te znajdzie czytelnik w pracy Einsteina na str. 423. *Inny układ*, przechodząc obok danego układu, może w pewnym punkcie przejąć jego czas. Naprzykład, obserwator, znajdujący się w układzie ruchomym w pewnym punkcie $P$, przejeżdżając obok wzmiankowanego wyżej zegara zasadniczego w $A$, może wyregulować swój zegar zgodnie ze wskazaniem tego zegara zasadniczego. Wszystkie inne zegary układu ruchomego muszą znów być wyregulowane synchronicznie z zegarem w $P$ zapomocą sygnałów świetlnych tak, by się stało zadość zasadzie niezmiennej prędkości światła. Rozwijając tę myśl matematycznie, można się przekonać, że po takiem wyregulowaniu zegarów dwa zjawiska, które w układzie ruchomym zachodzą równocześnie w dwu miejscach różnych, nie będą równoczesne z punktu widzenia układu nieruchomego. Co gorsza, zegary układu ruchomego będą miały bieg powolniejszy, niż zegary układu nieruchomego; tego faktu nie dostrzeże obserwator, znajdujący się w układzie ruchomym, gdyż i wszystkie jego procesy życiowe będą zachodzić odpowiednio wolniej. Przeżywa on, że się tak wyrazimy, czas swego własnego układu.

Wszystko to brzmi w najwyższym stopniu paradoksalnie, dziwacz-

nie, nieprawdopodobnie. Jednak można pokazać, że poglądy te nie są zupełnie pozbawione podstaw ściśle doświadczalnych. *Eksperymentami bezpośredniemi* stwierdzono, że masa ciał szybko poruszających się, naładowanych elektrycznością ujemną, elektronów, rośnie w miarę zwiększania się prędkości. Znane jest prawo wzrostu masy wraz z prędkością. Przy zbliżaniu się do prędkości światła, masa elektronu dąży do nieskończoności. Sprawdzenie eksperymentalne zmiany masy w przypadku ciał naelektryzowanych dodatnio i obojętnych nie było dotychczas dokonane, gdyż tylko elektronom potrafimy nadać tak wielkie prędkości, że zmiana masy staje się dostrzegalna. Wydaje się jednak prawdopodobnem, że zmienność masy jest zjawiskiem powszechnem. W takim razie zwolnienie biegu zegarów i wszelkich wogóle procesów, nie wyłączając życiowych, w układzie poruszającym się tłumaczyłoby się właśnie wzrostem masy przy niezmienionej wartości sił działających. Im większa masa, tem wolniejsze wszystkie ruchy.

Czytelnikowi nasunie się pytanie, dlaczego przez tysiącolecia nie dostrzeżono żadnych wpływów ruchu ciał, dlaczego i obecnie inżynierowie opierają się całkowicie nie na mechanice relatywistycznej, lecz na mechanice Newtonowskiej, a jednak nie dostrzegają odchylenia obliczeń swoich od rzeczywistości. Wynika to stąd, że wszystkie odchylenia mechaniki relatywistycznej od mechaniki klasycznej są znikomo małe, dopóki chodzi o prędkości, z któremi się spotykamy w praktyce. Poprawki relatywistyczne są rzędu wielkości $v^2/c^2$, gdzie $v$ oznacza prędkość danego układu, a $c$ — prędkość światła. Największą prędkość potrafimy nadawać pociskom wielkich dział, używanych w marynarce. Prędkość jest wówczas rzędu $1\frac{km}{sek}$; stosunek $v/c$ równa się $\frac{1}{300000}$, a kwadrat jego jest tak małą liczbą, że *praktycznie* poprawka tego rodzaju nie ma najmniejszego znaczenia. Dopiero gdybyśmy mogli nadać pociskom naszym prędkość tego rzędu, co prędkość światła, wyolbrzymiałoby realne znaczenie teorji względności.

Wybitny fizyk francuski P a w e ł L a n g e v i n wskazał na to, że gdyby można było zrealizować pocisk, któryby posiadał prędkość, różniącą się od prędkości światła tylko o $^1/_{20000}$ część, i gdyby pocisk taki, opuściwszy ziemię i wędrując w przestworzach, mógł następnie zawrócić i znów się zjawić na ziemi, to mieszkaniec tego pocisku, któryby zużył na podróż 2 lata, zastałby ziemię postarzałą o lat 200. Oczywiście, on sam nie odmłodniałby, zestarzałby się jednak bardzo

mało. Tę samą myśl rozwija A. S. Eddington w sposób następujący [1]:

„Choć nie możemy podjąć takiego eksperymentu, żeby wysłać człowieka do innej części wszechświata, mamy jednak dość znajomości nauki, aby móc porównać rachunkowo szybkość procesów atomowych i innych przemian fizycznych w ciele, znajdującem się w spoczynku i w ciele, posiadającem ruch nader szybki. W sposób zupełnie określony możemy powiedzieć, że procesy cielesne podróżnika zachodzą wolniej, niż odpowiednie procesy człowieka, znajdującego się w spoczynku (t. j. wolniej zgodnie z czasem Astronoma Królewskiego) [2]. Niema w tem nic szczególnie tajemniczego. Jest rzeczą dobrze wiadomą tak z punktu widzenia teoretycznego, jak i eksperymentalnego, że masa lub bezwładność materji rośnie, gdy wzrasta prędkość. Opóźnienie jest naturalną konsekwencją większej bezwładności. Tak więc, o ile chodzi o procesy cielesne, szybko poruszający się podróżnik żyje wolniej. Perjodyczność jego trawienia i znużenia, szybkość reagowania mięśni na bodźce, przejście jego ciała od stanu młodzieńczego do męskiego, procesy materjalne w jego mózgu, które mniej lub więcej muszą dotrzymywać kroku przechodzeniu myśli i uczuć, cykanie zegarka w kieszonce jego kamizelki, — wszystko to musi się odbywać wolniej w jednym i tym samym stosunku. Jeżeli prędkość podróży będzie bardzo wielka, znajdziemy, że, gdy osobnik pozostawiony w domu postarzał się o lat 70, podróżnemu przybył rok jeden. Miał on apetyt tylko na 365 pierwszych i drugich śniadań i t. d.; jego intellekt, hamowany przez wolno działający mózg, przemyślał tylko materjał jednego roku życia na ziemi. Jego zegarek, który zdaje sprawę z biegu zjawisk w sposób bardziej ścisły i bardziej naukowy, potwierdza to. Sądząc z czasu, który świadomość próbuje mierzyć swym swoistym, zgruba określonym sposobem (powtarzam, że to jest jedyny sposób rachowana czasu, który mamy prawo uważać za odrębny od obserwacyj przestrzennych), ci dwaj ludzie nie *przeżyli* tego samego czasu pomiędzy swemi dwoma spotkaniami".

„Powołanie się na czas, oceniany przez czyjąś świadomość, komplikuje fakt, że ten sposób rachowania jest związany z wielkiemi błędami... Nie mam wielkiej chęci kierować się tak niezadawalającym czasomierzem. Chcę tylko rozprawić się z krytykiem, który powiada,

---

[1]) The nature of the physical world, Cambridge at the University Press, str. 38.

[2]) Astronom Królewski w Anglji ma pieczę nad ustaleniem czasu, obowiązującego w stosunkach społeczno-prawnych.

że „czuje czas w swych kościach", ja zaś chciałbym mu wykazać, że podstawą tego wyczucia jest czas *przeżyty*, który, jakeśmy dopiero co widzieli, pomiędzy dwoma spotkaniami może wynosić 70 lat dla jednego osobnika, a 1 rok dla drugiego. Możemy mierzyć „czas przeżyty" zupełnie naukowo zapomocą zegarka, biorącego udział w podróży danego osobnika i doznającego tych samych, co i on, zmian bezwładności wraz z prędkością. Lecz są oczywiste przeszkody do powszechnego uznania „czasu przeżytego". Mogłoby być rzeczą pożyteczną dla każdego człowieka posiadać swój czas prywatny, proporcjonalny dokładnie do „czasu przeżytego"; lecz byłoby nader niedogodnem mieć to na względzie przy wypłacie pensji, naprzykład. Dlatego też Astronom Królewski ustanowił powszechny sposób rachuby czasu, który wcale nie odpowiada czasowi przeżytemu. Zgodnie z tą rachubą, trwanie nie zależy od tego, jak się rozpatrywany przedmiot porusza w międzyczasie. Zgadzam się, że ten sposób rachuby czasu jest nieco przykry dla naszego powracającego podróżnika, którego na tej podstawie zaliczą do ludzi osiemdziesięcioletnich, choć według wszelkich pozorów jest on jeszcze chłopcem dziesięcioletnim".

Eksperyment, o którym mowa wyżej, należy i, niemal napewno, zawsze należeć będzie do rzędu fantazyj naukowych. Jednak w dziedzinie ruchu elektronów spotykamy prędkości bliskie prędkości światła. Promienie β radu posiadają prędkości, przewyższające 99% prędkości światła. Promieniom katodowym w rurkach próżniowych umiano nadawać prędkości, wynoszące ½ prędkości światła. Niepodobieństwem, oczywiście, byłoby umieścić obserwatora na elektronie i badać zgodność eksperymentu z teorją względności. Mechanika relatywistyczna przewiduje natomiast inny skutek szybkiego ruchu; pokazuje ona, że bezwładna masa cząstki powinna wzrastać wraz z prędkością według wzoru

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

gdzie $m$ oznacza masę cząstki, znajdującej się w ruchu, $m_0$ — masę cząstki spoczywającej, $v$ — prędkość ruchu, a $c$ — prędkość światła. Z wzoru tego widać odrazu, iż w miarę zbliżania się $v$ do prędkości światła, mianownik będzie maleć nieskończenie, a masa $m$ będzie nieskończenie wzrastać. Doświadczalnie największe zmiany masy obserwowano w przypadku promieni β radu $C$, gdzie prędkość elektronów sięga 0.998 prędkości światła; masa jest wtedy 15,8 razy więk-

sza od masy elektronu spoczywającego. Wzór, podany na str. 406, b. dobrze się sprawdza w doświadczeniu. Poniżej dajemy dla przykładu kilka cyfr z licznych rezultatów, które otrzymali Ch. Eug. Guye i Lavanchy w swych badaniach nad szybkiemi promieniami katodowemi; $v$ oznacza prędkość elektronów, $c$ — prędkość światła, $m$ — masę elektronu poruszającego się, $m_0$ — masę elektronu znajdującego się w spoczynku.

| $v/c$ | $m/m_0$ zaobserw. | $m/m_0$ oblicz. | Różnica |
|---|---|---|---|
| 0.3029 | 1.046 | 1.049 | — 0.003 |
| 0.3551 | 1.070 | 1.069 | + 0.001 |
| 0.4097 | 1.101 | 1.096 | + 0.005 |
| 0.4591 | 1.122 | 1.126 | — 0.004 |
| 0.4829 | 1.139 | 1.142 | — 0.003 |

Mechanika klasyczna zna tylko stałe masy, niezależne od prędkości. Odkrycie zmienności masy wyraźnie wskazuje na niedostateczność idej Newtona. Gdyby Laplace żył obecnie, napewno nie powiedziałby (ob. t. I), że Newton „był najszczęśliwszym spośród myślicieli, gdyż teorję świata raz tylko można stworzyć".

Coprawda zmienność masy można też interpretować i ze stanowiska odmiennego, elektromagnetycznego. Elektron w ruchu stanowi rodzaj prądu, wytwarza naokoło siebie pole elektromagnetyczne; wszelka zmiana prędkości ruchu wywołuje odkształcenie tego pola. W tej interpretacji masa elektronu ma charakter elektromagnetyczny. Teorja ta jednak jest bardziej skomplikowana od relatywistycznej; wymaga ona też dodatkowej hipotezy o kształcie elektronu. Zakładając, że elektron ulega w swym biegu skróceniu [1]), identycznemu

[1]) Aby wytłumaczyć brak przesunięcia prążków interferencyjnych w doświadczeniu Michelsona, dołączył Lorentz do zasadniczych założeń swej teorji hipotezę, że wszelkie ciało materjalne ulega skróceniu w kierunku ruchu, niezależnie od materjału, z którego jest zrobione. Tym sposobem pręt, którego długość w spoczynku wynosi $l$, ustawiony osią w kierunku ruchu, przybiera długość $l\sqrt{1-v^2/c^2}$, gdzie $v$ oznacza prędkość ruchu pręta, a $c$ — prędkość światła. Zmniejszenie długości jest tak wybrane, że kompensuje całkowicie oczekiwany wpływ ruchu ziemi na przesunięcie prążków w interferometrze. Dzięki skróceniu Lorentza (Fitz-Gerald, niezależnie od Lorentza, wpadł na tę samą myśl) elektron kulisty w biegu przybiera postać elipsoidy obrotowej.

Teorja względności ma tę wyższość nad teorją Lorentza, że kompensujące

z tem, które przewiduje teorja względności, otrzymał H. A. Lorentz wzór (1), opierając się na elektromagnetyzmie. Gdy w teorji elektromagnetycznej zmienną masę posiada tylko ciało naelektryzowane, teorja względności przewiduje zmienność każdej masy. Dotychczas nie udało się nadać atomom obojętnym prędkości takiej, któraby pozwoliła dokonać ostatecznego wyboru pomiędzy dwiema interpretacjami.

Zmienność masy pozwala przedstawić energję w nowem zupełnie świetle. Wyobraźmy sobie punkt materjalny, którego masa w spoczynku $= m_0$ i na który na pewnej drodze działa określona siła. Praca przez siłę wykonana powiększa energję punktu materjalnego. To zwiększenie energji ujawni się w powiększeniu masy. Wynik ostateczny obliczenia, jeżeli się pominie stałą całkowania, jest taki, że energja dostarczona $E$ równa jest wyrażeniu $mc^2$, gdzie $m$ oznacza masę, a $c$ — prędkość światła. Otrzymuje się wzór

$$E = mc^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Zauważymy, że $E$ po lewej stronie jest wielkością zmienną; po prawej stronie $c$ jest wielkością stałą, lecz $m$ również jest zmienną. Uogólniając wyniki kilku tego rodzaju obliczeń, twierdzi teorja względności, że wszelka energja dostarczana ciału powiększa jego masę i odwrotnie, ciało, tracąc energję, traci zarazem na masie. Bezpośredniego dowodu doświadczalnego tego wzoru nie mamy dotychczas. Trudność sprawdzenia polega na tem, że w myśl wzoru (2)

$$m = \frac{E}{c^2}, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

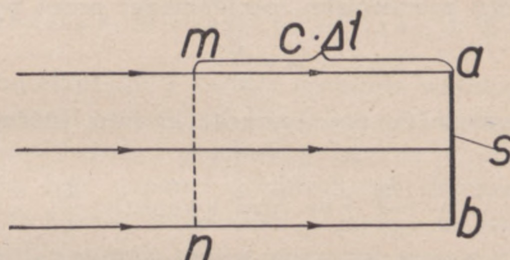
ponieważ $c^2$ jest liczbą olbrzymią $(9 \times 10^{20})$, więc zmiana masy, odpowiadająca stracie lub zyskowi energji, jest tak nikła, że nie może być praktycznie dostrzegana. Weźmy dla przykładu jedną z najenergiczniejszych reakcyj chemicznych, — łączenie się wodoru z tlenem. Na każdy gram wodoru reakcja daje 33940 kal. gramowych. Gdy zatem powstaje cząsteczka gramowa wody, t. j. 18 gr. $H_2O$, przyczem spalają się okrągło 2 gr. wodoru, ilość kaloryj wytworzonych będzie równa 67880. Mnożąc tę liczbę przez mechaniczny równoważnik ciepła, otrzymujemy energję wyrażoną w jednostkach C. G. S. Strata na wadze, według wzoru (2), powinna przeto wynieść

skrócenie jest w niej wnioskiem koniecznym z równań podstawowych, a nie — hipotezą specjalną, sztucznie dołączoną do całości.

$$m = \frac{67880 \times 4.19 \times 10^7}{9 \times 10^{20}} = 3.16 \times 10^{-9} \text{ gramów.}$$

Takich małych zmian masy nie pozwalają wykrywać obecne metody fizyko - chemiczne. Ponieważ energja przechodzi w masę i masa w energję, słusznie możemy energji przypisać pewną masę, wynikającą z wzoru (3) na str. 408.

Pokażemy zaraz, że doskonale ustalone *fakty eksperymentalne* wskazują na to, że energji promienistej możemy przypisać określoną masę. Lebiediew, a po nim Nichols i Hull, dowiedli, że światło wywiera ciśnienie. (Ob. str. 429). Liczbowo ciśnienie światła,




Rys. 116.
Wyliczenie ciśnienia światła.

padającego na powierzchnię czarną, równe jest gęstości energji promienistej, t. j. energji, zawartej w jednostce objętości. Jeżeli na powierzchnię $S$ pada w ciągu czasu $\Delta t$ ilość energji $E$, to energja ta zajmowała poprzednio objętość *mnab*, która się równa $S.c.\Delta t$. gdzie $c$ jest prędkością światła. Ciśnienie na jednostkę powierzchni

$$p = \frac{E}{S.c.\Delta t}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

w myśl wyników badań eksperymentalnych. Stąd, oznaczając przez $F$ siłę całkowitą $= p.S$, działającą na czarną powierzchnię, mamy na podstawie wzoru (4)

$$p.\,S.\,\Delta t = F.\,\Delta t = \frac{E}{c} = Mv.$$

Siła F, działając na powierzchnię czarną *ab* w ciągu czasu $\Delta t$, nadaje jej pewien impuls $Mv$, gdzie $M$ oznacza masę powierzchni, a $v$—nadaną jej prędkość. Istotnie, zapomocą niezmiernie subtelnych urządzeń mechanicznych udawało się wykazać pęd, nadany ciałom materjalnym przez światło. Stojąc na stanowisku kwantów świetlnych (str. 335),

słusznie wyobrażamy sobie, że światło działa, jak strumień pocisków o energji $h\nu$ każdy, pędzących z prędkością $c$. Te pociski kwantowe nadają impuls powierzchni naświetlanej, przekazując jej swój pęd. Oznaczmy masę pojedyńczego kwantu przez $\mu$, a liczbę kwantów, padających w ciągu czasu $\Delta t$ na powierzchnię, przez $N$. W takim razie każdy kwant przekazuje powierzchni pęd $\mu c$, a wszystkie razem — $N.\mu.c$; $N.\mu$ jest masą łączną kwantów; oznaczmy ją przez $m$. Mamy teraz

$$mc = F.\Delta t = \frac{E}{c}.$$

Stąd masa energji promienistej, pochłanianej przez powierzchnię

$$m = \frac{E}{c^2}$$

Stosując to równanie do pojedyńczego kwantu, którego energja $h\nu$, mamy

$$\mu = \frac{h\nu}{c^2} \text{ i } \mu c \text{ (pęd kwantu)} = \frac{h\nu}{c} \quad . \; . \; . \; . \; (5)$$

Obliczmy masę kwantu promieni Röntgenowskich o długości fali $= 1\,A = 10^{-8}$ cm. Energja kwantu, jak pokazuje łatwe obliczenie, $= 1.96 \times 10^{-9}$ ergów [1]; masa

$$\mu = \frac{1.96 \times 10^{-9}}{9 \times 10^{-20}} = 2.18 \times 10^{-30} \text{ gr.},$$

jest więc około 400 razy mniejsza od masy wolno poruszającego się elektronu, równej $8{,}98 \times 10^{-28}$ grama.

Reasumując, co było powiedziane wyżej, dochodzimy do wniosku, że teorja względności, choć pozornie paradoksalna, jest jednak teorją jednolitą, konsekwentną, obejmującą bez sprzeczności całokształt faktów doświadczalnych. Ona jedna pozwala rozciągnąć zasadę relatywizmu na zjawiska elektromagnetyczne i optyczne. Ona też daje metodę rozumowania, coraz częściej stosowaną w interpretacji różnych zjawisk fizycznych. Niepodobna nie uznać jej za realny postęp naukowy [2].

---

[1]) Stała $h = 6.55 \times 10^{-27}$ *erg.sek.* $\nu = c/\lambda = \frac{3 \times 10^{10}}{10^{-8}} \cdot \frac{1}{sek.}$

[2]) Powyżej staraliśmy się przedstawić myśli przewodnie t. zw. szczególnej teorji względności, dotyczącej ruchów jednostajnych prostolinjowych. Wiadomości z dziedziny ogólnej teorji względności znajdzie czytelnik na końcu „Optyki" w rozdziale uzupełniającym pióra P. D-ra G. Doborzyńskiego.

## Rozdział XIII.

### O ruchu względnym ziemi i eteru światłonośnego;

przez Alberta A. Michelsona i Edwarda W. Morley'a[1]).

PO odkryciu aberracji[2]) światła nastąpiło wkrótce jej wyjaśnienie, zgodne z teorją emisyjną. Przypisano zjawisko prostemu składaniu się prędkości światła z prędkością ziemi na jej orbicie. Nie dostrzegano trudności tego napozór dostatecznego tłumaczenia, dopóki nie zaproponowano później tłumaczenia, opartego na teorji falowej światła. To nowe tłumaczenie było z początku prawie równie proste, jak i dawne. Lecz nie było w stanie zdać prawy z faktu dowiedzionego doświadczalnie, że aberracja nie zmienia się, kiedy się wykonywa spostrzeżenia zapomocą teleskopu napełnionego wodą. Albowiem, jeżeli styczna kąta aberracji jest stosunkiem prędkości ziemi do prędkości światła, to aberracja, obserwowana zapomocą teleskopu napełnionego wodą, powinnaby się równać czterem trzecim jej wartości prawdziwej, gdyż prędkość światła w wodzie wynosi trzy czwarte jego prędkości w próżni[3]).

Na podstawie teorji falowej przypuszcza się, idąc za Fresnel'em, po pierwsze, że eter jest w spoczynku z wyjątkiem wnętrza ośrodków przezroczystych, w których, jak się przypuszcza po drugie, po-

---

[1]) On the relative motion of the earth and the luminiferous ether; by Albert A. Michelson and Edward W. Morley. The American Journal of Science, r. 1887, t. 34, str. 333.

[2]) P. str. 393 *(tł.)*.

[3]) Warto zaznaczyć, że większa część pisarzów przyjmuje dostateczność wyjaśnienia zgodnego z teorją emisyjną światła, w rzeczywistości jednak trudność jest większa nawet, niż w teorji falowej, gdyż podług teorji emisyjnej prędkość światła może być większa w teleskopie napełnionym wodą i kąt aberracji powinienby być mniejszy. Aby więc zredukować go do wartości prawdziwej, musielibyśmy postawić bezsensowną hipotezę, że ruch wody w teleskopie przenosi promienie światła w kierunku względem niego przeciwnym.

rusza się on z prędkością mniejszą od prędkości ośrodka w stosunku $\frac{n^2-1}{n^2}$, gdzie $n$ jest spółczynnikiem załamania. Te dwie hipotezy dają zupełne i zadawalające wytłumaczenie aberracji. Hipoteza druga, nie bacząc na jej pozorne nieprawdopodobieństwo, musi być uważana za całkowicie dowiedzioną: po pierwsze, przez słynne doświadczenie Fizeau, powtóre, przez zupełne potwierdzenie, którego dostarczyła nasza własna praca [1]). Poddanie próbie doświadczenia pierwszej hipotezy stanowi przedmiot niniejszej rozprawy.

Gdyby ziemia była ciałem przezroczystem, to, być może, zważywszy dopiero co przytoczone doświadczenia, możnaby się zgodzić, że eter międzycząsteczkowy jest w spoczynku, pomimo ruchu ziemi po jej orbicie, lecz nie mamy prawa rozciągać wniosku z doświadczeń tych na ciała nieprzezroczyste. Trudno jednak kwestjonować, że eter może przechodzić przez metale i że przechodzi przez nie. Lorentz przytacza, jako ilustrację, rurkę barometryczną metalową. Kiedy rurka jest nachylona, eter w przestrzeni ponad rtęcią z pewnością musi uchodzić, gdyż jest nieściśliwy [2]). Lecz nie mamy prawa przypuszczać, że się on wymyka zupełnie swobodnie, i, gdyby istniał opór jakikolwiek, choć słaby, to z pewnością nie moglibyśmy przypuszczać, że ciało nieprzezroczyste takie, jak ziemia cała, daje swobodne przejście przez swą masę. Lecz Lorentz czyni trafną uwagę: jakkolwiek rzecz się ma, dobrze zrobimy, zdaniem mojem, jeżeli w kwestji tak ważnej nie damy się kierować rozważaniem o stopniu prawdopodobieństwa lub prostoty tej lub innej hipotezy, lecz zwrócimy się do doświadczenia, aby poznać stan spoczynku lub ruchu, w którym znajduje się eter na powierzchni ziemi.

W kwietniu 1881 zaproponowałem i urzeczywistniłem metodę doświadczalnego zbadania zagadnienia [3]).

Przy wywodzie wzoru dla wielkości, która miała być mierzona, nie zauważono wpływu ruchu ziemi w eterze na drogę promienia. Dyskusja wpływu tej okoliczności pominiętej i dyskusja całego wogóle doświadczenia stanowi przedmiot głęboko badawczej analizy H. A. Lorentza [4]), który znajduje, że to działanie pod żadnym pozorem

---

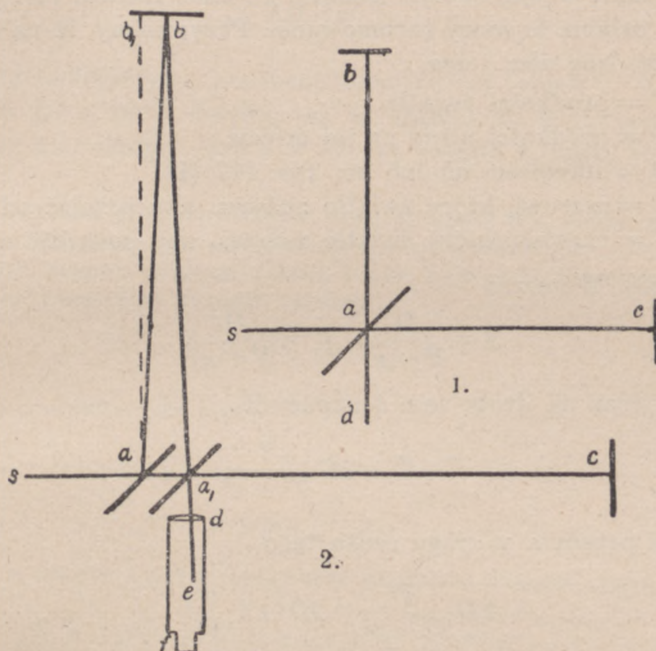
[1]) P. str. 395 *(tł)*.

[2]) Możnaby zarzucić, że on może uchodzić przez odstęp pomiędzy rtęcią i ściankami; lecz możnaby zapobiec temu, amalgamując ścianki.

[3]) *(Tł.)*. Słynny interferometr, opisany schematycznie na następnej stronicy, został właśnie skonstruowany w r. 1881.

[4]) De l'influence du mouvement de la terre sur les phen. lum. Archives Néerlandaises, XXI, 2-me livre, 1886.

nie może być pominięte. W rezultacie wielkość, która miała być mierzona, posiadała w rzeczywistości tylko połowę wartości, którą się jej przypisywało, a ponieważ była już poza granicami błędów doświadczenia, więc i wniosek, wyciągnięty z wyników doświadczeń, słusznie mógłby być kwestjonowany; ponieważ jednak główna część teorji pozostaje niezakwestjonowana, zdecydowano się na powtórzenie doświadczenia z takiemi modyfikacjami, któreby zapewniły wy-




Rys. 117.

nik teoretycznie dość wielki, iżby go nie mogły zamaskować błędy doświadczalne. Teorję tej metody można krótko ująć w sposób następujący.

Niech *sa* na rys. 117 (1) oznacza promień światła, który po części jest odbity w kierunku *ab*, po części zaś przepuszczony w stronę *ac*; zwierciadła *b* i *c* skierowują go napowrót wzdłuż *ba* i *ca*; *ba* jest częściowo przepuszczany wzdłuż *ad*, i *ca* jest częściowo odbijany wzdłuż *ad*. Jeżeli więc drogi *ab* i *ac* są równe, dwa promienie interferują wzdłuż *ad*. Przypuśćmy teraz, że cały aparat porusza się w kierunku *sc* z prędkością ziemi na jej orbicie, przyczem eter pozostaje w spoczynku; wówczas kierunki i odległości, przebywane przez

promienie, będą zmienione w sposób następujący. Promień *sa* zostaje odbity wzdłuż *ab*, rys. 117 (2); kąt $bab_1$ jest równy kątowi aberracji $\alpha$, i promień wraca wzdłuż $ba_1$ ($aba_1 = 2\alpha$) i biegnie do ogniska teleskopu, którego kierunek jest niezmieniony. Promień przepuszczony biegnie wzdłuż *ac*, wraca wzdłuż $ca_1$ i doznaje odbicia w $a_1$, tworząc kąt $ca_1e = 90^0 - \alpha$, a więc — zbiegając się z promieniem pierwszym. Należy zaznaczyć, że promienie $ba_1$ i $ca_1$ nie spotykają się już teraz dokładnie w tym samym punkcie $a_1$, choć różnica jest drugiego rzędu; nie osłabia to mocy rozumowania. Przypuśćmy, iż należy znaleźć różnicę dróg $aba_1$ i $aca_1$.

Niech $V$ = prędkości światła.
$v$ = prędkości ziemi na jej orbicie.
$D$ = odległości *ab* lub *ac*, rys. 117 (1).
$T$ = czasowi, który światło zużywa, aby przejść od *a* do *c*.
$T_1$ = czasowi, który światło zużywa, aby powrócić z *c* do $a_1$ (rys. 117 (2). Wówczas

$$T = \frac{D}{V-v}, \quad T_1 = \frac{D}{V+v}.$$

Całkowity czas na drogę tam i napowrót

$$T + T_1 = 2D\frac{V}{V^2 - v^2}$$

i odległość przebyta w ciągu czasu tego

$$2D\frac{V^2}{V^2 - v^2} = 2D\left(1 + \frac{v^2}{V^2}\right)$$

z pominięciem wyrazów czwartego rzędu [1]). Długość drugiej drogi równa się oczywiście

$$2D\sqrt{1 + \frac{v^2}{V^2}}.$$

---

[1]) Istotnie, dzieląc bezpośrednio $V^2$ przez $V^2 - v^2$, otrzymujemy:

$$\frac{V^2}{V^2 - v^2} = 1 + \frac{v^2}{V^2} + \frac{v^4}{V^4} + \frac{v^6}{V^6} \cdots,$$

zatem

$$2D \cdot \frac{V^2 - v^2}{V^2} = 2D\left(1 + \frac{v^2}{V^2} + \frac{v^4}{V^4} + \ldots\right)$$

Stosunek $v/V$ jest liczbą b. małą; odrzucając potęgi wyższe od drugiej, znajdziemy wyrażenie podane w tekście. *(tł.)*.

Różnica wynosi zatem

$$D \frac{v^2}{V^2}$$ [1]).

Jeżeli teraz obrócimy cały aparat o $90^0$, różnica będzie zachodziła w kierunku przeciwnym, a zatem przesunięcie prążków interferencyjnych powinnoby wynosić

$$2D \frac{v^2}{V^2}.$$

Jeżeli uwzględnimy tylko prędkość ziemi na jej orbicie[2]), wyrażenie to wyniesie $2D \times 10^{-8}$. Gdyby, jak to zachodziło w przypadku doświadczenia pierwszego, $D = 2 \times 10^6$ fal światła żółtego, to przesu-

---

[1]) Oto szczegółowe obliczenie. Długość drogi promienia $aba_1$ można obliczyć na podstawie rys. 117, prowadząc jako pomocniczą linję wysokość $bd$; wynosi ona $2l$. Zanim promień świetlny przebiegnie drogę $l = ab$, zwierciadło przesunie się od $a$ do $d$, a zatem (zważywszy równość czasów):

$$\frac{l}{V} = \frac{ad}{v}\,; \quad ad = \frac{v}{V} \cdot l$$

Z trójkąta prostokątnego $abd$ wynika, że

$$l^2 = D^2 + ad^2 = D^2 + \frac{v^2}{V^2} \cdot l^2; \quad \text{stąd} \quad l^2\,(1 - v^2/V^2) = D^2 \quad \text{i}$$

$$l^2 = D^2 \frac{1}{1 - v^2/V^2}.$$

Dzieląc, jak w uwadze 1-szej i poprzestając na małych drugiego rzędu, mamy

$$l^2 = D^2\left(1 + \frac{v^2}{V^2}\right); \; 2\,l = 2D\,\sqrt{1 + v^2/V^2},$$

jak w tekście. To ostatnie wyrażenie należy odjąć od pierwszej drogi $2D\,(1 + v^2/V^2)$. Uczynimy to łatwo, mając na względzie, że

$$\sqrt{1 + v^2/V^2} = 1 + \tfrac{1}{2}\,\frac{v^2}{V^2}\,.$$

przy pominięciu małych czwartego rzędu.

Czytelnik, nie znający użycia szeregów, sprawdzi bezpośrednio, że

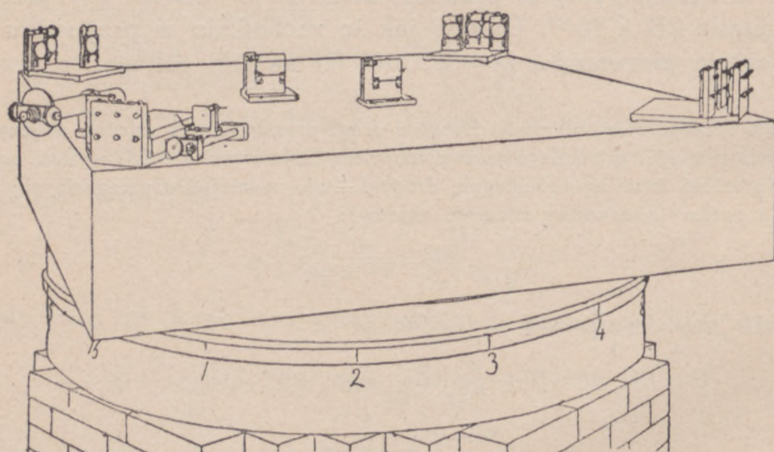
$$(1 + v^2/2V^2)^2 = 1 + \frac{v^2}{V^2} + \frac{v^4}{4\,V^4}\,;$$

jeżeli więc pominiemy wyrazy w czwartej potędze, otrzymamy żądany związek, wyciągając pierwiastek kwadratowy po obu stronach równości powyższej. *(tł.)*.

[2]) *(Tł.)*. Przeciętna prędkość ziemi w ruchu po orbicie = ok. 30 klm. na sekundę (ściślej 29.76).

nięcie oczekiwane wynosiłoby 0,04 odległości pomiędzy prążkami interferencyjnemi.

W doświadczeniu pierwszem jedną z największych trudności, które napotkano, była trudność obracania przyrządu bez wytwarzania skręcenia; drugą trudność stanowiła nadzwyczajna wrażliwość przyrządu na drgania. Była ona tak wielka, że, pracując w mieście, nawet o drugiej rano, można było widzieć prążki interferencyjne tylko na krótki przeciąg czasu. Ostatecznie, jakeśmy zauważyli poprzednio, wielkość, która miała być obserwowana, mianowicie przesunięcie nieco mniejsze od dwudziestej części odległości pomiędzy prąż-



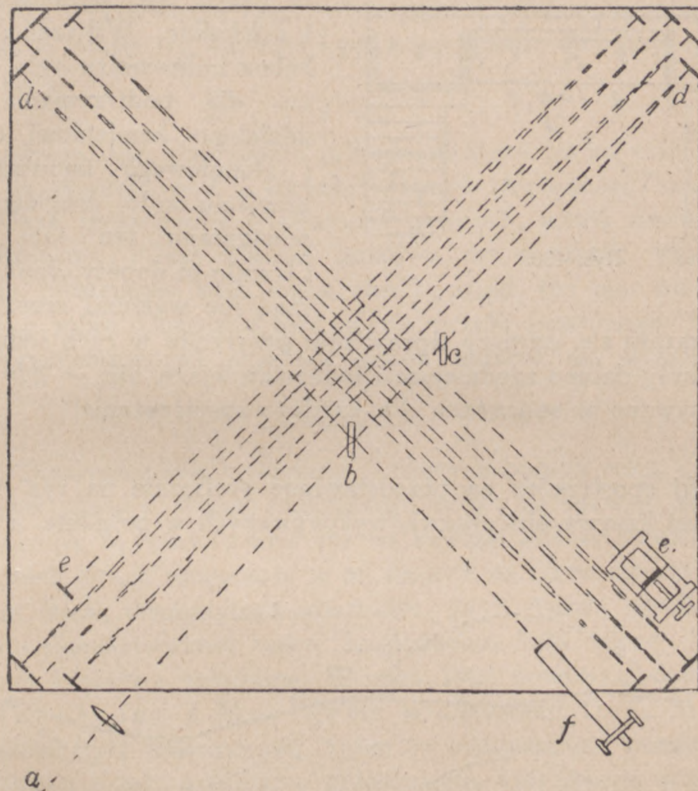

Rys. 118.

kami interferencyjnemi, mogłoby być zbyt małe do wykrycia, wobec maskujących je błędów doświadczalnych.

Pierwsza z pomiędzy wymienionych trudności była całkowicie przezwyciężona przez zmontowanie przyrządu na masywnym kamieniu, pływającym na rtęci; druga — przez powiększenie drogi światła zapomocą odbicia wielokrotnego, dzięki któremu długość drogi stała się niemal dziesięć razy większa od wartości pierwotnej.

Przyrząd jest przedstawiony w perspektywie na rys. 118, w rzucie poziomym na rys. 119 i w przekroju pionowym na rys. 120. Kamień *a* ma około 1,5 metra w kwadracie i jest na 0,3 m. gruby. Spoczywa on na pierścieniowatym pływaku drewnianym *bb*, o średnicy zewnętrznej = 1,5 m., o średnicy wewnętrznej = 0,7 m. i o grubości 0,25 m. Pływak spoczywa na rtęci, zawartej w misie z żelaza lanego *cc*, grubej na 1,5 cm., takich wymiarów, że zostawia ona około 1 cm. prze-

strzeni wolnej wokoło pływaka. Pręt *d*, prowadzony przez ramiona *gggg*, pasuje w pochwę, przymocowaną do pływaka. Pręt może być w pochwę wsuwany lub z niej wysuwany zapomocą dźwigni, obracającej się koło *f*. Ten pręt utrzymuje pływaka w pozycji koncentrycznej względem misy, lecz nie niesie wcale ciężaru kamienia.



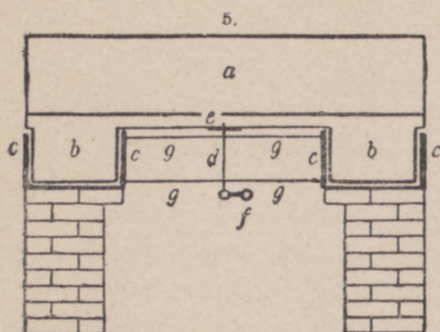

Rys. 119.

Pierścieniowata misa żelazna spoczywa na podłożu z cementu, pokrywającem niski słup z cegły, zbudowany w kształcie pustego ośmiokąta.

Promienie światła (rys. 119), wychodzące z *a*, padały na soczewkę, poczem przechodziły przez płytkę *b* równoległościenną. Tu promień się rozdzielał: część jego szła do zwierciadła *d*. Potem, po odbiciu wielokrotnem od zwierciadeł umieszczonych w czterech rogach, promienie trafiały na objektyw lunety *f* i dawały prążki interferencyjne.

Obserwacje były prowadzone w sposób następujący: naokoło naczynia z żelaza lanego zrobiono w równych odstępach szesnaście zna-

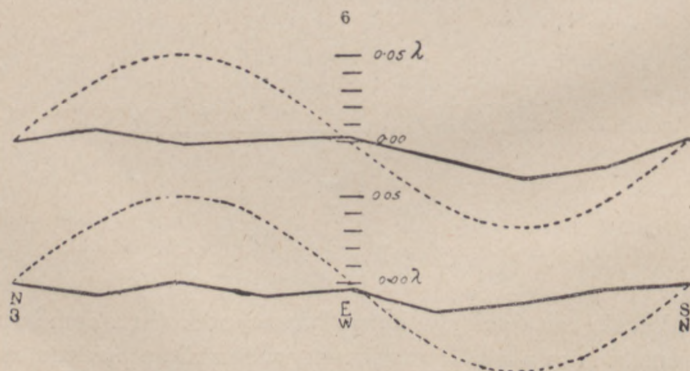
ków. Aparat był obracany nader wolno (jeden obrót na sześć minut), i po kilku minutach krzyż mikrometru ustawiano na najjaśniejszy prążek interferencyjny w chwili przejścia koło jednego ze znaków. Ruch był tak wolny, że to mogło być wykonane łatwo i dokładnie. Wskazanie główki bębna mikrometru było notowane; dla podtrzymania ruchu udzielano kamieniowi lekkiego i stopniowego impulsu; przy przejściu koło drugiego znaku powtarzano ten sam proces, i trwało to dopóty, dopóki przyrząd nie wykonał sześciu obrotów. Okazało się, że przy wprawianiu przyrządu w ruch jednostajny wyniki były daleko zgodniejsze i jednostajniejsze, niż, — gdy kamień zatrzymywano w spoczynku dla każdego spostrzeżenia.




Rys. 120.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Wyniki spostrzeżeń są przedstawione graficznie na rys. 121. Na górze jest krzywa obserwacyj, wykonywanych w południe, a na dole




Rys. 121.

krzywa obserwacyj wieczornych. Krzywe przerywane dają j e d n ą ó s m ą przesunięcia teoretycznego. Zdaje się, iż z rysunku słusznie można wnioskować, że jeżeli jest jakiekolwiek przesunięcie, pochodzące z ruchu względnego ziemi i eteru światłonośnego, to nie może ono być znacznie większe od 0.01 odstępu pomiędzy prążkami.

Jeżeli rozpatrywać tylko ruch ziemi po jej orbicie, przesunięcie to powinno wynosić

$$2D\frac{v^2}{V} = 2D \times 10^{-8}\cdot$$

Odległość $D$ wynosiła około jedenastu metrów lub $2 \times 10^7$ fal światła żółtego. Przesunięcie rzeczywiste było z pewnością mniejsze od dwudziestej części tej wartości i prawdopodobnie mniejsze, niż część czterdziesta.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Rozpatrywaliśmy poprzednio tylko ruch ziemi po jej orbicie. Gdybyśmy go skombinowali z ruchem systemu słonecznego, co do którego jednak mało mamy wiadomości pewnych, wynik musiałby być zmodyfikowany, i jest właśnie możliwe, że prędkość wypadkowa w czasie spostrzeżeń była mała, choć pogląd ten ma wiele szans przeciwko sobie. Doświadczenie będzie przeto powtórzone w odstępach trzymiesięcznych, a w ten sposób uniknie się wszelkiej niepewności.

---

*(Tł.)*. Doświadczenie, wykonane w różnych porach roku, dało również wynik ujemny. Wobec powyższego mogło się zdawać, że sprawa eksperymentu Michelsona raz na zawsze została rozstrzygnięta. W ostatnich latach rozgorzała w tej materji na nowo dyskusja, która chwilami miała dramatyczny charakter, gdyż groziła upadkiem tak misternie skonstruowanej teorji względności, koło której powstała olbrzymia literatura specjalna. W roku 1904 powtarzał doświadczenie Michelsona z Morley'em w Cleveland D. C. Miller. Obserwacje były dokonywane zrazu w podziemnem pomieszczeniu laboratorjum i dały minimalne przesunięcie, którego nie umiano wytłumaczyć błędami eksperymentalnemi. Kiedy przeniesiono aparat na sąsiedni pagórek i umieszczono go w lekkim drewnianym domku, posiadającym liczne okna, efekt obserwowany okazał się większy; przesunięcie obserwowane wynosiło około $^1/_{10}$ przesunięcia teoretycznego. Z przyczyn czysto zewnętrznych dalszą pracę w tym kierunku przerwano. Dopiero w roku 1921 wznowił D. C. Miller swoje doświadczenia. Mniemając, na podstawie spostrzeżeń dawnych, iż, być może, wzniesienie wpływa na wielkość efektu, przetransportował swój aparat do obserwatorjum astronomicznego na Mount Wilson w Kalifornji, na wysokość 1800 metrów ponad poziom morza. Badania kilkoletnie dały Millerowi wynik dodatni; przesunięcia

prążków były takie, iż odpowiadały prędkości ziemi rzędu 10 m/sek.

Wynik badań Millera obalał z gruntu teorję względności, która przewiduje w równaniach podstawowych skrócenie interferometru Michelsona w kierunku ruchu, kompensujące *całkowicie* wpływ ruchu ziemi. Podjęto na nowo i dyskusje teoretyczne, i badania eksperymentalne, które pokazały, że przyczyna przesunięć, obserwowanych przez Millera, tkwiła prawdopodobnie w nieznacznych różnicach temperatury, które powstawały na drodze promeni świetlnych w jego aparacie, i wpływały na załamanie promieni. Kiedy użyto w Kalifornji (R. J. Kennedy) przyrządu zamkniętego i zamiast powietrza zastosowano hel, który załamuje światło znacznie słabiej, niż powietrze, dalej,—zmniejszono rozmiary aparatu i wprowadzono jeszcze drobne ulepszenia, okazało się, że obserwowane przesunięcia prążków zmalały o tyle, że można było mówić o prędkości ziemi, nie przewyższającej 1 km/sek. Pomiary innych eksperymentatorów dały wyniki zupełnie ujemne. W rezultacie ostatecznym badania Millera przyczyniły się do wzmocnienia podstaw doświadczalnych relatywizmu.

---

## Rozdział XIV.

### ALBERT EINSTEIN.

ALBERT E i n s t e i n urodził się w r. 1879 w mieście Ulm w Wirtembergji. Rodzice jego wkrótce przesiedlili się do Monachjum, gdzie przyszły uczony pobierał nauki zrazu w szkole powszechnej, a następnie, do piętnastego roku życia w gimnazjum. W dzieciństwie nie okazywał specjalnych uzdolnień; zaczął mówić tak późno, iż rodzice obawiali się, że będzie dzieckiem upośledzonem. Ze szkół monachijskich, naogół, nie wyniósł E i n s t e i n miłych wspomnień; panował tam, szczególnie w szkole powszechnej, duch dyscypliny wojskowej, duch feldfebla i lejtnanta niemieckiego z czasów przedwojennych. Już w gimnazjum wykazał E i n s t e i n zamiłowanie i zdolności do matematyki. W swych samodzielnych studjach wyprzedził daleko współkolegów, opanowując geometrję analityczną i elementy rachunku różniczkowego, gdy tamci siedzieli jeszcze nad elementami algebry.

W roku 1894 rodzice E i n s t e i n a wyemigrowali do Włoch, do Medjolanu. Spowodowało to półroczną przerwę w nauce szkolnej. E i n s t e i n bez powodzenia próbował zdać egzamin do Szkoły Politechnicznej w Zurychu; wstąpił wówczas do szkoły kantonalnej [1]) w Aarau, gdzie po roku uzyskał maturę, poczem dostał się na Politechnikę w Zurychu. Tu zapisał się na Wydział Pedagogiczny, uważając za ideał otrzymanie w przyszłości stanowiska nauczyciela szkoły średniej. Mając lat 21, ukończył studja wyższe. Nie posiadając obywatelstwa szwajcarskiego, nie mógł uzyskać stanowiska nauczyciela. Ze względów wyznaniowych trudno mu było otrzymać asystenturę przy Politechnice. Przez czas pewien musiał się utrzymywać z prywatnych lekcyj matematyki i fizyki.

W roku 1901, po pięcioletnim pobycie w Szwajcarji, uzyskał E i n-

---

[1]) Rodzaj gimnazjum realnego.

s t e i n obywatelstwo szwajcarskie i dzięki staraniom jednego z przyjaciół otrzymał stanowisko pracownika urzędu patentowego w Bernie, gdzie pozostawał do roku 1909. Rokiem przełomowym w życiu E i n s t e i n a był rok 1905, gdy ogłosił jedną po drugiej szereg niezwykle ważnych rozpraw. W tym czasie przedewszystkiem ugruntował podstawy szczególnej teorji względności w rozprawie „Zur Elektrodynamik bewegter Körper" (str. 423 tej książki) i dał zasadnicze prawo teorji kwantów w pracy p. t. „Ueber einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt" (str. 336). W tym roku również powstała rozprawa o ruchach Browna i praca doktorska, dotycząca rozmiarów molekuł. Powyższe prace dość szybko zwróciły na siebie uwagę świata naukowego; wyrazem uznania było powołanie E i n s t e i n a na profesora nadzwyczajnego fizyki teoretycznej w Uniwersytecie Zuryskim, co nastąpiło w r. 1909. W roku 1911 został profesorem zwyczajnym w Pradze Czeskiej, skąd w r. 1912 powrócił do Zurychu w charakterze profesora zwyczajnego Politechniki. W następnym roku powołany został, dzięki staraniom znakomitego teoretyka M a x a P l a n c k a, do Berlina, gdzie E i n s t e i n o w i, jako członkowi Akademji Berlińskiej, zabezpieczono całkowicie egzystencję materjalną, pozwalając mu wszystkie siły poświęcić pracom czysto naukowym, bez obowiązku oddawania się pracy pedagogicznej. W roku 1921 otrzymał E i n s t e i n nagrodę Nobla.

Dla nauki najważniejsze znaczenie miały prace, dotyczące szczególnej (1905) i ogólnej (1915) teorji względności; dalej — badania nad rolą kwantów w zjawiskach optycznych i rozciągnięcie teorji kwantów na dziedzinę ciepła. Prócz tych głównych tematów, których rozwinięcie, dane przez E i n s t e i n a, wywarło potężny wpływ na dalszy rozwój nauki, zajmował się on też zagadnieniami z dziedziny teorji kinetycznej materji, magnetyzmu, pozostawiając wszędzie głęboki ślad swego oryginalnego i nawskroś samodzielnego umysłu.

## W sprawie elektrodynamiki ciał poruszających się;

przez A. Einstein'a [1]).

Wiadomo, że elektrodynamika Maxwell'a — jak ją obecnie zazwyczaj pojmujemy — prowadzi w swem zastosowaniu do ciał poruszających się do asymetryj, które, jak się zdaje, nie tkwią w samych zjawiskach. Pomyślmy naprzykład o elektrodynamicznem oddziaływaniu wzajemnem magnesu i przewodnika. Zjawisko, które tu możemy obserwować, zależy tylko od ruchu względnego przewodnika i magnesu, gdy tymczasem, podług zwykłego sposobu ujmowania, należy ściśle oddzielić od siebie obydwa przypadki, kiedy jest poruszane to jedno to drugie z tych ciał. Kiedy, mianowicie, porusza się magnes, a spoczywa przewodnik, to w sąsiedztwie magnesu powstaje pole elektryczne, posiadające pewien zapas energji; ono właśnie wytwarza prąd w miejscach, gdzie się znajdują części przewodnika. Kiedy jednak magnes spoczywa, a przewodnik się porusza, to w okolicy magnesu pole elektryczne nie powstaje, przeciwnie zaś w przewodniku powstaje siła elektrobodźcza, której jednak nie odpowiada żaden zapas energji; jeżeli jednak przypuścimy, że ruchy względne w obydwu przypadkach rozważanych są jednakowe, to owa siła elektrobodźcza powoduje prądy elektryczne tej samej wielkości i o tym samym przebiegu, jak to czynią w pierwszym przypadku siły elektryczne.

Podobne przykłady, jako też niepowodzenie w doświadczeniach, mających na celu stwierdzenie ruchu ziemi w stosunku do ośrodka świetlnego, prowadzą do przypuszczenia, że nietylko w mechanice, lecz i w elektrodynamice pojęciu spoczynku bezwzględnego nie odpowiadają żadne własności zjawisk. Mniemać należy raczej, że dla wszelkich układów spółrzędnych, dla których są słuszne równania mechaniczne, są również słuszne jadnakowe prawa elektrodynamiczne i optyczne, jak tego już dowiedziono dla wielkości pierwszego rzędu [2]). To przypuszczenie (którego treść będziemy nazywali później „Zasadą względności") uczynimy założeniem naszem; prócz tego wprowadzimy założenie, z niem pozornie niezgodne, że światło w przestrzeni próżnej rozchodzi się zawsze z prędkością określoną *V*,

---

[1]) Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein. Annalen der Physik, r. 1905, t. 17, str. 891.

[2]) Teorja elektronów wykazała, eż o ile poprzestać na małych pierwszego rzędu, ruch jednostajny i prostolinjowy nie wpływa na zjawiska elektrodynamiczne i optyczne. *(tł.).*

niezależną od prędkości ciała, które je wysyła. Te obydwa przypuszczenia wystarczają, żeby dojść do prostej i wolnej od sprzeczności elektrodynamiki ciał poruszających się, biorąc za podstawę teorję Maxwell'a dla ciał spoczywających. Wprowadzenie „eteru świetlnego" okaże się zbyteczne, ile że podług pojmowania, które mamy rozwinąć, ani nie wprowadzamy „przestrzeni, będącej w spoczynku bezwzględnym", ani też nie przypisujemy wektora prędkości punktowi przestrzeni próżnej, w której odbywają się procesy elektromagnetyczne.

Teorja, która ma być rozwinięta, opiera się, jak i każda inna elektrodynamika, na kinetyce ciała sztywnego, gdyż orzeczenia każdej teorji dotyczą związków pomiędzy ciałami sztywnemi (układami spółrzędnych), zegarami i procesami elektrodynamicznemi. Niedostateczne uwzględnienie tej okoliczności jest źródłem trudności, z któremi musi obecnie walczyć elektrodynamika ciał poruszających się.

## I. CZĘŚĆ KINEMATYCZNA.

### § 1. Określenie równoczesności.

Przypuśćmy, że mamy układ spółrzędnych, w stosunku do którego są słuszne Newton'owskie równania mechaniczne. Ten układ spółrzędnych, gwoli odróżnienia go w mowie od układów spółrzędnych, które wprowadzimy później, i gwoli nadania wyobrażeniom określonego kształtu, nazwiemy „układem spoczywającym".

Jeżeli punkt materjalny jest w spoczynku względem tego układu spółrzędnych, to jego położenie względem układu może być określone zapomocą sztywnych miar przy użyciu metod geometrji Euklidesowej i może być wyrażone w spółrzędnych Kartezjusza.

Jeżeli chcemy opisać ruch punktu materjalnego, to podajemy wartość jego spółrzędnych jako funkcję czasu. Trzeba jednak mieć na oku, że tego rodzaju opis matematyczny wtedy dopiero posiada sens fizyczny, kiedy sobie poprzednio wyjaśnimy, co rozumiemy przez „czas". Musimy uwzględnić, że wszystkie nasze sądy, w których czas gra pewną rolę, są zawsze sądami o wydarzeniach równoczesnych. Kiedy mówię, naprzykład: „Ten pociąg przychodzi tu o godzinie 7-mej", znaczy to mniej więcej: „Wskazanie siódemki przez małą wskazówkę zegarka mego i przybycie pociągu są zjawiskami równoczesnemi".

Mogłoby się zdawać, że wszystkie trudności, dotyczące określenia „czasu", mogłyby być przezwyciężone przez to, iż „czas" zastąpiłbym „pozycją małej wskazówki mego zegarka". Określenie takie jest w sa-

mej rzeczy dostatecznem, kiedy chodzi o to, żeby czas określić wyłącznie dla miejsca, w którem właśnie znajduje się zegar; definicja nie wystarcza już więcej, skoro chodzi o to, żeby szeregi wydarzeń, zachodzących w miejscach różnych, powiązać ze sobą w czasie, lub, co na jedno wychodzi, — oceniać z punktu widzenia czasu wydarzenia, które zachodzą w miejscach od zegara odległych.

Możemy coprawda zadowolić się następującą oceną porządku wydarzeń w czasie: obserwator, znajdujący się wraz z zegarem na początku układu spółrzędnych, podporządkowuje odpowiednią pozycję wskazówki zegara każdemu znakowi świetlnemu, który dochodzi doń poprzez przestrzeń próżną, i który świadczy zarazem o wydarzeniu, które ma być ocenione z punktu widzenia czasu. W takiem podporządkowaniu tkwi jednak ta wada, iż, jak to wiemy z doświadczenia, nie jest ono niezależne od stanowiska obserwatora, zaopatrzonego w zegar. Poniższe rozważanie prowadzi do daleko praktyczniejszego sposobu ustalenia czasu.

Jeżeli w punkcie $A$ przestrzeni znajduje się zegar, to obserwator, znajdujący się w $A$, może ocenić z punktu widzenia czasu zdarzenia zachodzące w najbliższem sąsiedztwie tego punktu, wyszukując pozycje wskazówek zegarowych, równoczesne względem tych wydarzeń. Jeżeli i w punkcie $B$ przestrzeni również znajduje się zegar — dodajmy „zegar o ściśle takiem samem urządzeniu, jak i zegar w $A$",— to i w najbliższem otoczeniu $B$ jest możliwe dokonanie oceny zjawisk w czasie przez obserwatora, znajdującego się w $B$. Jednak porównanie w czasie zjawiska, zachodzącego w $A$, ze zjawiskiem w $B$ zachodzącem nie jest możliwe bez ustalenia dalszych założeń; określiliśmy dotychczas tylko „czas w $A$" i „czas w $B$", nie określiliśmy jednak „czasu" wspólnego dla $A$ i $B$. Taki właśnie czas możemy określić, ustalając d r o g ą d e f i n i c j i, że „czas", którego światło potrzebuje, aby dojść z $A$ do $B$, równy jest „czasowi", którego światłu potrzeba, aby dojść z $B$ do $A$. Niech mianowicie w chwili $t_A$, wyrażonej zapomocą „czasu w $A$", z punktu tego odchodzi promień świetlny z $A$ do $B$, który w punkcie $B$ zostaje odbity w stronę $A$ w momencie $t_B$, „czasu w $B$"; dochodzi on z powrotem do $A$ w chwili $t'_A$, wyrażonej według „czasu w $A$". Podług definicji obydwa zegary idą synchronicznie, gdy

$$t_B - t_A = t'_A - t_B .$$

Zakładamy, że ta definicja synchronizmu jest możliwa w sposób wolny od sprzeczności, i — w dodatku dla dowolnie wielu punktów, że przeto zachodzą wogóle związki następujące:

1. Jeżeli zegar w $B$ idzie synchronicznie z zegarem w $A$, to i zegar w $A$ idzie synchronicznie z zegarem w $B$.

2. Jeżeli zegar w $A$ idzie synchronicznie zarówno z zegarem w $B$, jako też z zegarem w $C$, to i zegary w $B$ i $C$ idą względem siebie synchronicznie.

Tym sposobem ustaliliśmy, biorąc do pomocy pewne (pomyślane) doświadczenia fizyczne, co należy rozumieć przez bieg synchroniczny zegarów, będących w spoczynku, a znajdujących się w miejscach różnych; widocznem jest, iż zdobyliśmy tym sposobem określenie „równoczesności" i „czasu". Czasem zdarzenia jest równoczesne z tem zdarzeniem wskazanie zegara, będącego w spoczynku i znajdującego się w miejscu zdarzenia; ten zegar biegnie synchronicznie z określonym zegarem, będącym w spoczynku, który ma być jeden i ten sam dla wszystkich wyznaczeń.

Zakładamy zgodnie z doświadczeniem, że wielkość

$$\frac{2\,AB}{t'_A - t_A} = V$$

jest stałą powszechną (prędkością światła w przestrzeni próżnej).

Jest rzeczą istotną, iż określiliśmy czas zapomocą zegarów, będących w spoczynku w układzie spoczywającym; tak właśnie określony czas wskutek tej przynależności do układu spoczywającego nazywamy „Czasem układu spoczywającego".

### § 2. Względność długości i czasów.

Powyższe rozważania opierają się na zasadzie względności i na zasadzie stałej prędkości światła; obydwie zasady te określamy w sposób następujący.

1. Prawa, według których zmieniają się stany układów fizycznych, są niezależne od tego, do którego z dwu układów, znajdujących się względem siebie w ruchu jednostajnym prostolinjowym, odnosimy te zmiany stanów.

2. Każdy promień świetlny porusza się w „spoczywającym" układzie spółrzędnych z określoną prędkością $V$ niezależnie od tego, czy ten promień świetlny jest wysyłany przez ciało spoczywające czy też w ruchu będące. Przytem

$$\textit{prędkość} = \frac{\textit{drodze światła}}{\textit{czas trwania}}$$

czas trwania należy pojmować w sensie określenia § 1.

Przypuśćmy, że dany jest sztywny nieruchomy pręt; przypuśćmy dalej, że, według pomiarów dokonanych zapomocą spoczywającego również pręta, posiada on długość $l$. Pomyślmy teraz, że oś pręta jest skierowana wzdłuż osi $X$-*ów* spoczywającego układu spółrzędnych i że prętowi jest udzielony ruch jednostajny równoległy (prędkość $v$) wdłuż osi $X$-*ów* w kierunku wzrastającego $x$. Zapytujemy teraz o długość p o r u s z a j ą c e g o się pręta; wyobrażamy sobie, iż wyznaczono ją zapomocą dwu następujących czynności:

*a*) Obserwator porusza się wraz z poprzednio wymienioną miarą i wraz z prętem, który ma być mierzony, i bezpośrednio, przez przyłożenie miary, mierzy długość pręta; — jak gdyby obserwator wraz z prętem, który ma mierzyć, i miarą znajdował się w spoczynku.

*b*) Obserwator wyznacza zapomocą będących w spoczynku i synchronicznych podług § 1 zegarów, które są umieszczone w układzie spoczywającym, w jakich punktach układu tego znajduje się początek i koniec mierzonego pręta w określonym czasie $t$. Odległość obydwu tych punktów, mierzona poprzednio już używaną, w tym przypadku nieruchomą miarą, również jest długością, której można nadać miano „długości pręta".

Podług zasady względności długość, którą znajdziemy przy operacji *a*) i którą będziemy nazywali „długością pręta w układzie poruszanym", będzie musiała być równa długości $l$ pręta w spoczynku będącego.

Długość, którą znajdzemy przy operacji *b*) i którą będziemy nazywali „długością pręta (poruszającego się) w układzie spoczywającym", określimy na podstawie naszych obydwu zasad i znajdziemy, że ona jest od $l$ różna.

Powszechnie stosowana kinematyka przyjmuje milcząco, że długości, określone przez obydwie wspomniane operacje, są sobie dokładnie równe, lub innemi słowy — że poruszające się ciało sztywne w chwili czasu $t$ pod względem geometrycznym może być w zupełności zastąpione przez t o s a m o ciało, gdy się ono z n a j d u j e w s p o c z y n k u w określonej pozycji.

Wyobraźmy sobie dalej, że na obydwu końcach pręta $A$ i $B$ są umieszczone zegary, synchroniczne z zegarami układu spoczywającego, t. j. zegary, których wskazania odpowiadają zawsze „czasowi układu spoczywającego" w miejscach, w których się one znajdują; te zegary są zatem „synchroniczne w układzie spoczywającym".

Wyobraźmy sobie dalej, że przy każdym zegarze znajduje się obserwator, poruszający się wraz z nim, i że obserwatorzy ci stosują do

obydwu zegarów probierz co do synchronicznego biegu dwu zegarów, podany w § 1. Niech wyjdzie w czasie $t_A$ promień świetlny z $A$, który, będąc odbity w czasie $t_B$, dochodzi do $A$ w czasie $t'_A$. Uwzględniając zasadę stałej prędkości światła, znajdziemy

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{V - v}$$

i

$$t'_A - t_B = \frac{r_{AB}}{V + v'},$$

przyczem $r_{AB}$ oznacza długość poruszającego się pręta, — mierzoną w układzie nieruchomym. Obserwatorowie, poruszający się z prętem ruchomym, znaleźliby, że obydwa zegary nie idą synchronicznie, gdy tymczasem obserwatorowie, znajdujący się w układzie nieruchomym, oświadczyliby, że zegary idą synchronicznie.

Widzimy więc, że pojęciu równoczesności nie możemy przypisać znaczenia b e z w g l ę d n e g o, lecz, że dwa zdarzenia, które, rozpatrywane z danego układu spółrzędnych, są równoczesne, rozpatrywane z układu, poruszającego się względem układu tamtego, nie mogą już być pojmowane, jako zdarzenia równoczesne.

———

## Rozdział XV.

### Badania nad siłami ciśnienia światła;

przez Piotra Lebiediewa[1]).

ZAKŁADAJĄC podstawy swej elektromagnetycznej teorji światła, wziął też Maxwell (1873) pod uwagę i te siły, które występują jako siły ponderomotoryczne w ośrodku elektrycznie spolaryzowanym; jako wniosek z jego teorji wynika, że siły te muszą występować w wiązce światła, i Maxwell powiada:

„W środowisku, w którem rozchodzi się fala, w kierunku jej rozchodzenia się działa ciśnienie, które w każdem miejscu liczbowo jest równe energji, jaka się tam znajduje, odniesionej do jednostki objętości".

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Na drodze zupełnie innej i, jak się zdaje, nie znając wyniku Maxwell'a, doszedł do tego samego wniosku Bartoli (1876): podaje on procesy kołowe, które mają pozwolić na przenoszenie energji zapomocą ruchomych zwierciadeł od ciała zimniejszego do cieplejszego, i oblicza pracę, która na podstawie drugiej zasady musi być w tym celu wykonana. Konieczność wykonania pracy przy przesunięciu zwierciadeł w kierunku przeciwnym kierunkowi promieniowania padającego zmusza do przyjęcia sił ciśnienia, które są wywierane przez to promieniowanie na zwierciadło. Bartoli obliczył wielkość tych sił ciśnienia; jego wynik zgadza się zupełnie z wynikiem, otrzymanym przez Maxwell'a[2]).

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Kiedy wiązka promieni równoległych pada prostopadle na powierzchnię płaską, to wielkość tego ciśnienia Maxwell'a-Bartoli'ego jest wyznaczona, kiedy jest znana energja $E$, padająca w cią-

---

[1]) Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes; von Peter Lebiediew. Annalen der Physik, 1901, t. 6, str. 433.

[2]) Patrz rozprawę L. Boltzmanna na str. 435 książki niniejszej.

gu jednostki czasu, zdolność odbijania powierzchni $\varrho$ i prędkość rozchodzenia się promieniowania $V$; mamy wówczas:

$$p = \frac{E}{V}(1+\rho),$$

gdzie $\varrho$ jest zawarte pomiędzy 0 dla ciała doskonale czarnego i 1 dla doskonałego zwierciadła.

Te siły ciśnienia są bardzo małe. Zarówno Maxwell jak i Bartoli obliczyli, że promienie słońca, padając prostopadle na 1 m. kw., wywierają ciśnienie, które dla powierzchni doskonale czarnej wynosi 0,4 mg. i dla zwierciadła płaskiego 0,8 mg. [1])

Przypuszczenia, że takie siły ciśnienia muszą istnieć, były wypowiedziane znacznie wcześniej. Tak, naprzykład, Kepler (1619) sądził, że źródła siły odpychającej, którą słońce wywiera na ogony komet, należy szukać w sile ciśnienia promieniowania, który to pogląd był zgodny z panującą teorją emisyjną światła i był gorliwie popierany przez Longomontanus'a (1622). Ten sam powód skłonił również Eulera (1746) do przypisania promieniowaniu słońca sił ciśnienia; próbował on uzasadnić konieczność tych sił ciśnienia, rozpatrując ruchy, wywołujące światło, jako drgania podłużne.

De-Mairan (1754) wraz z Du-Fay'em wykonali bardzo interesujące doświadczenia, aby sprawdzić eksperymentalnie te przypuszczenia, znaleźli jednak niebawem, że zakłócające ogrzewanie powietrza otaczającego nie pozwala wykazać z całą pewnością bezpośrednich sił ponderomotorycznych światła; jak na środki pomocnicze wieku XVIII, doświadczenia De-Mairan'a zasługują na podziw największy. Takie doświadczenie przedsięwziął był również Fresnel (1825) i podobnież napotkał te same trudności; szczegółowe

[1]) Słońce dostarcza 1 cm.$^2$ w ciągu 1 minuty 1.92 kal. gr. ciepła. Dzieląc przez 60, otrzymamy ilość energji na 1 sek. Energja promienista biegnie z prędkością $3 \times 10^{10}$ cm/sek., a zatem promieniowanie, zanim padło na 1 cm.$^2$ czarnej powierzchni, ustawionej prostopadle do promieni (liczba 1.92 dotyczy normalnego padania), zajmowało objętość $3 \times 10^{10}$ cm.$^3$. Gęstość energji promienistej, liczbowo równa ciśnieniu, wynosiła zatem (1 kal. gr. $= 4.19 \times 10^7$ ergów):

$$p = \frac{1.92 \times 4.19 \times 10^7}{60 \times 3 \times 10^{10}} \frac{erg.}{cm.^3} \left(\frac{dyn.}{cm.^2}\right)$$

Parcie na 1 m.$^2 = 10^4$ cm.$^2$ jest odpowiednio większe. Przerachowując dyny na ciężarowe miligramy, znajdujemy ostatecznie $p = 0.45$ mgr. W przypadku doskonałego zwierciadła zdolność odbijania $= 1$, ciśnienie jest więc w myśl wzoru, podanego w tekście, dwa razy większe, niż w przypadku powierzchni czarnej.

badanie zjawisk tego rodzaju doprowadziło Crookes'a do wykrycia sił radiometrycznych [1]).

Zastosowania, jakie ciśnienie promieniowania Maxwell'a-Bartoli'ego może znaleźć zarówno w fizyce, jak i w astronomji, sprawiają, że eksperymentalne zbadanie tych sił wydaje się bezwarunkowo pożądanem, ponieważ wywody teoretyczne, wychodzące zarówno z idej Maxwell'a, jak i z poglądów Bartoli'ego, opierają się na pewnych prostych własnościach powierzchni pochłaniających i odbijających, i mogłoby się jeszcze wydawać wątpliwem, czy występujące ponderomotoryczne siły światła również są określone przez te tylko własności. Te kwestje mogą być rozstrzygnięte jedynie przez dalsze badania uzupełniające; najprościej przytem prowadzi do celu doświadczenie bezpośrednie.

Usiłowania, które czynili w tym kierunku Zöllner i Bartoli, nie dały żadnego wyniku pozytywnego; dlatego też przedsięwziąłem niżej podane badania doświadczalne nad siłami ciśnienia światła.

## II. Układ doświadczenia i przyrządy.

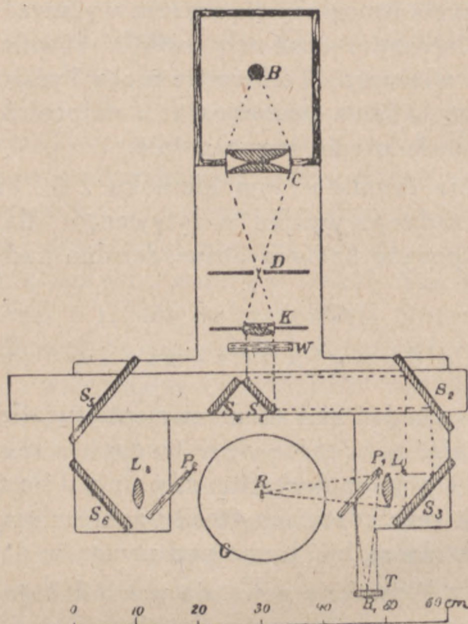
Przy prowadzenu badań nad siłami ciśnienia światła Maxwell'a-Bartoli'ego stają na drodze dwie trudności: zakłócenia wskutek konwekcji i występujące tu siły radiometryczne. Przy najwyższych rozrzedzeniach te siły zakłócające stają się małe, pomimo to jednak muszą być brane pod uwagę w pomiarach.

Zakłócenia przez konwekcję powstają wskutek tego, że, przy ogrzaniu skrzydeł przez naświetlanie, przylegające warstwy gazu również ogrzewają się i wywołują powolny prąd wstępujący; jeżeli płaszczyzna skrzydła ma chociażby małe (niemal nieuniknione) nachylenie względem płaszczyzny pionowej, to wstępujący prąd gazu wywiera na skrzydło skręcenie, które jest zależne tylko od ogrzania, a nie od kierunku, w którym padają promienie. Zakłócenie może być wyeliminowane przez to, że promienie tego samego źródła skierowuje się naprzemian to na jedną, to na drugą stronę skrzydła.

---

[1]) *(Tł.)*. W próżni dość daleko posuniętej występują pomiędzy powierzchniami o niejednakowej temperaturze siły wzajemnego przyciągania lub odpychania. Istnienie tych sił możemy wytłumaczyć jedynie z punku widzenia teorji kinetycznej: od powierzchni cieplejszej odskakują cząsteczki z prędkością większą niż od zimniejszej; tem samem powierzchnia cieplejsza będzie odpychana, co widzimy naprzykład w radiometrze Crookes'a.

Zakłócenie wskutek sił radiometrycznych zostało zredukowane do minimum tym sposobem, że wzięto balon możliwie duży ($D = 20$ cm.[1]); wszystkie promienie, które mogą być pochłonięte przez szklaną ściankę balonu, zostały usunięte zapomocą filtru świetlnego; skrzydła, gwoli lepszego wyrównania ciepła, były sporządzone z cienkiej blachy metalowej, i oprócz tego ewakuacja zapomocą pompy rtęciowej przy zastosowaniu mieszaniny mrożącej została możliwie daleko posunięta.




Rys. 122.

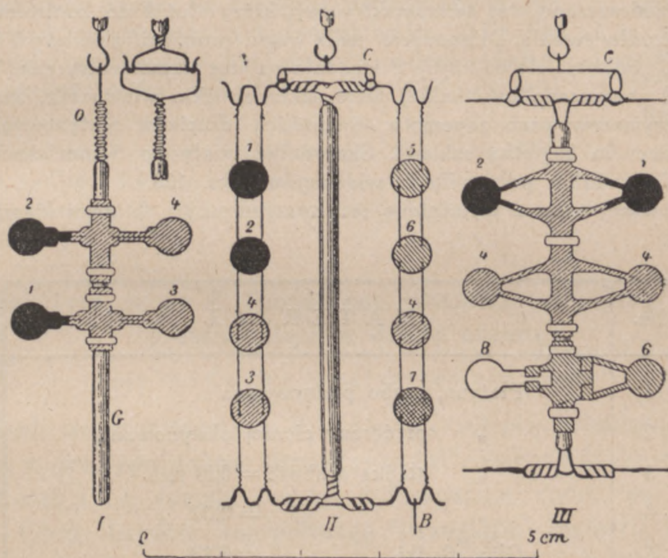
Jeżeli siły radiometryczne są małe, to dotycząca ich poprawka może być obliczona w następujący sposób: siły radiometryczne są proporcjonalne do różnicy temperatur pomiędzy oświetloną a ciemną powierzchnią skrzydła, lub, dla dwu skrzydeł z tego samego materjału o jednakowym charakterze powierzchni, wprost proporcjonalne do ich grubości; wykonywując spostrzeżenia jednocześnie na dwu jednakowych skrzydłach o nader różnej grubości, możemy obliczyć, jak wielkie odchylenie wywołałoby światło, gdyby grubość skrzydła i zarazem siła radiometryczna były równe zeru.

[1]) $D$ = średnicy. *(Tł.).*

Chciałbym tu zaraz zauważyć, że należy zrobić tę poprawkę tylko dla skrzydełek platynowanych; przy skrzydełkach metalowych siły radiometryczne wbrew wszelkim oczekiwaniom były znikomo małe.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Zastosowany układ doświadczenia był następujący (rys. 122): obraz krateru lampy łukowej prądu stałego $B$ (30 amp.) rzucano zapomocą kondensatora $C$ na diafragmę metalową $D$ ($d = 4$ mm.). Stożek świetlny, wychodzący z diafragmy, zamieniano zapomocą so-




Rys. 123.

czewki $K$ na wiązkę promieni równoległych; w celu oswobodzenia światła od promieni podczerwonych, umieszczano za soczewką $K$ naczynie szklane o ścianach płaskich i równoległych $W$ [1]) z czystą wodą (grubość warstwy 1 cm.); w tem miejscu można było również wstawiać w bieg promieni szkło malinowo-czerwone, względnie zastąpić wodę amoniakalnym roztworem siarczanu miedzi [2]). Na swej dalszej drodze wiązka świetlna doznawała odbicia od płaskich zwierciadeł

[1]) Tym sposobem usuwano wszystkie promienie podczerwone o $\lambda > 1{,}2\mu$; z drugiej strony soczewki szklane zatrzymują promienie nadfiołkowe.

[2]) Przy czerwonym i niebieskim filtrze świetlnym energja rozporządzalna redukuje się do jakiejś piątej części energji światła białego; jest to dowód, że użyte promieniowanie należało prawie wyłącznie do dziedziny widzialnej.

szklanych $S_1$, $S_2$ i $S_3$, mających warstwę odbijającą na swej powierzchni tylnej, a soczewka $L$ zbierała promienie wewnątrz balonu szklanego w $R$, dając rzeczywisty powiększony obraz ($d$ = 10 mm.) diafragmy $D$; kiedy przesuwano parę zwierciadeł $S_1$ $S_4$, promienie przechodziły drogę analogiczną i padały z drugiej strony na skrzydła, wiszące w balonie szklanym $R$. Soczewki $L_1$ i $L_2$ miały po 20 cm. odległości ogniskowej i po 5 cm. swobodnego otworu; tak, że padający stożek świetlny miał kąt mniej więcej = $15^0$.

W $T$ umieszczano stos termoelektryczny, który służył do kontrolowania natężenia źródła światła. Mianowicie, mała część promieni, zbieranych przez soczewkę $L_1$, odbijała się od szyby $P$ i padała na stos termoelektryczny. Wewnątrz balonu $R$ zawieszano na cienkiej nitce szklanej lekki wiatraczek. Jego skrzydełka przymocowywano zapomocą cieniutkich drucików platynowych do osi, którą stanowiła bagietka szklana. Skrzydełka miały po 5 mm. średnicy. Ich urządzenie w kilku przypadkach widzimy na rys. 123.

W poniższej tabelce wyjaśnione jest znaczenie cyfr, któremi blaszki są poznaczone.

| Nr. | MATERJAŁ |
|---|---|
| 1 | Platyna, grubo platynowana |
| 2 | „ pięć razy cieniej platynowana |
| 3 | „ gładka grubość = 0.10 mm. |
| 4 | „ „ „ = 0,02 „ |
| 5 | Glin, gładki „ = 0.10 „ |
| 6 | „ „ „ = 0.02 „ |
| 7 | Nikiel, gładki „ = 0,02 „ |
| 8 | Mika „ < 0,01 „ |

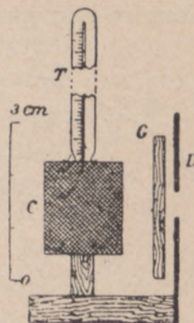
Wewnątrz balonu wytwarzano próżnię, możliwie daleko posuniętą. Prężność cząstkową powietrza redukowano przedewszystkiem do 0.001 mm. zapomocą pompy rtęciowej; te resztki powierza usuwano jeszcze zapomocą ogrzewania zawartej w przyrządzie rtęci, przyczem rtęć, uchodząc w postaci pary, porywała za sobą cząsteczki powietrza. W przyrządzie pozostawała ostatecznie prawie wyłącznie para rtęci, której prężność zmniejszano przez oziębianie ścianki zapomocą mieszaniny lodu i soli.

Pomiary miały odpowiedzieć na dwa pytania: 1) czy istnieje ciśnienie światła niezależnie od sił konwekcji i sił radiometrycznych? 2) czy wielkość tego ciśnienia odpowiada przewidywaniom teorji Maxwell'a - Bartoli'ego, t. j. — czy ciśnienie równe jest energji, zawartej w $cm.^3$ przestrzeni, przez którą promienie przebiegają?

Opisane powyżej urządzenie eksperymentalne pozwoliło odpowiedzieć twierdząco na pytanie pierwsze. Kąt skręcenia skrzydełek pozwalał obliczyć siłę ciśnienia; siła ta w danym przypadku była rzędu $0{,}00004\frac{dyn.}{cm^2}$; zmieniała się w sposób przez teorję przewidziany wraz z naturą powierzchni naświetlanej.

Aby odpowiedzieć na pytanie drugie, mierzył L e b i e d i e w energję, dostarczaną przez promienie małemu kalorymetrowi, który umieszczano w $R$ (rys. 122) zamiast balonu szklanego.

Kalorymetr składał się z bloczka miedzianego, w który wstawiano czuły termometr (podziałka na $^1/_2{}^0$ C). Powierzchnia pochłaniająca była pokryta sadzami. Całkowita wartość wodna kalorymetru (rys. 124) wynosiła 5.13 gr.



Rys. 124.

Doświadczenie potwierdziło teorję M a x w e l l'a-B a r t o l i'ego. Różnica pomiędzy danemi spostrzeżeń a obliczeniami dochodziła wprawdzie do 20%, lecz trudność pomiarów dostatecznie tłumaczy te odchylenia [1]).

## O odkrytym przez P. Bartoli'ego stosunku pomiędzy ciepłem promienistem a drugą zasadą;

przez L u d w i k a B o l t z m a n n'a w Gracu [1]).

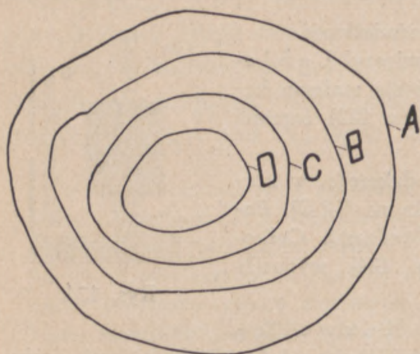
Z okazji mego referatu o E d d y'ego „cieple promienistem, jako wyjątku z drugiego prawa termodynamiki", zwrócił łaskawie p. Prof. W i e d e m a n n uwagę mą na interesującą rozprawę B a r t o l i'ego. Obok bardzo kompletnego przeglądu historji radiometru i własnych starannych spostrzeżeń na ten temat (z pomiędzy których szczególnie doniosłe znaczenie winnoby mieć studjum, w jakich warunkach czułe wagi skręceń mogą być ochronione od zakłócającego wpływu sił radiometrycznych), zawiera ona dowód nowego związku pomiędzy ciepłem promienistem a drugą zasadą.

---

[1]) *(Tł.).* N i c h o l s i H u l l (Ann. d. Physik, 1903, t. 12, str. 225) zdołali osiągnąć daleko lepsze wyniki ilościowe; stwierdzili oni, z dokładnością przewyższającą 1%, zgodność ciśnienia obserwowanego z teorją M a x w e l l'a. Metoda tych autorów różniła się nieco od metody L e b i e d i e w a. I tu również posługiwano się rodzajem radiometru; dokonywano jednak obserwacyj nie w próżni daleko posuniętej, lecz przy pewnym (16 mm. rt.) stosunkowo małym stopniu rozrzedzenia, kiedy, jak się przekonano zapomocą uprzednich doświadczeń, zakłócający wpływ powietrza redukuje się do minimum.

[1]) Ueber eine von Hrn. B a r t o l i entdeckte Beziehung der Wärmestrahlung zum zweiten Hauptsatze; von Ludwig B o l t z m a n n in Graz. Annalen der Physik und Chemie, 1884, t. 22, str. 31.

...Choć sobie jeszcze nie wyrobiłem zdania ostatecznego o tym przedmiocie, sądzę jednak, że mogę zakomunikować na tem miejscu niektóre rozważania, dotyczące tej materji, aby bądź samego P. B a r t o l i'ego, bądź innych fizyków pobudzić do dalszej dyskusji nad tym przedmiotem, który w każdym razie zdaje mi się zasługiwać na większą uwagę, niż mu jej dotychczas poświęcano.



Rys. 125.

Pan B a r t o l i wychodzi z faktu, że w przestrzeni, poprzez którą promieniuje ciepło, egzystuje mała, lecz skończona ilość energji w formie ciepła promienistego, która przez zmniejszenie przestrzeni może być przekazana ciału znajdującemu się w tej przestrzeni. Pomyślmy sobie, naprzykład, jakieś cztery w sobie zamknięte powierzchnie *A*, *B*, *C* i *D* (rys. 125) [1]. *B* ma być całkowicie zawarta wewnątrz *A*, również *C* — wewnątrz *B*, *D* — wewnątrz *C*; niech *A* i *D* będą doskonale czarne, *B* i *C* niech będą zzewnątrz i wewnątrz doskonałemi zwierciadłami, nieprzewodzącemi ciepła, temperatura *D* niech będzie wyższa od temperatury *A*. Cała przestrzeń pomiędzy *A* i *D* ma być bezwzględną próżnią. Na początku czasu *B* ma mieć otwór — tak, że promienie powierzchni *A* przenikają całą przestrzeń pomiędzy *B* i *C*. Niech się teraz *B* zamknie, a w *C* jakimkolwiek sposobem powstanie otwór; potem powierzchnia *B* zmniejsza się, póki przestrzeń, pozostająca pomiędzy nią a *C*, nie stanie się bardzo mała w porównaniu z przestrzenią, która pierwotnie była zawarta pomiędzy obiedwiema powierzchniami. Przytem prawie całkowita energja, znajdująca się pomiędzy *B* i *C* w postaci promieniowania, jest przekazywana powierzchni *D*. Teraz znów zamyka się otwór powierzchni *C*, a otwór powierzchni *B* się otwiera. Wreszcie *B* przybiera dawną postać i wielkość. Zmniejszenie pojemności powierzchni *B* może zachodzić bądź przez składanie się doskonale giętkich powierzchni (analogicznie do rozciągania harmonijki), bądź przez wsuwanie się jednej w drugą rur pozbawionych tarcia (analogicznie do wyciąganych rur w lunetach). Podług wyobrażeń, dotychczas zazwyczaj w teorji ciepła stosowanych, dzięki naszkicowanemu procesowi, który może być powta-

[1]) Oryginał nie zawiera tego rysunku.

rzany dowolnie często, pewna ilość ciepła mogłaby być przeniesiona bez kompensaty od ciała zimniejszego do ciała cieplejszego; ta ilość ciepła, praktycznie, jest coprawda bardzo mała, o ile objętość powierzchni B nie ma wymiarów olbrzymich. Jeżeli więc będziemy stali na punkcie widzenia słuszności drugiej zasady, to któreś z użytych wyobrażeń musi wymagać poprawki. Najprędzej nasuwa się przypuszczenie, że niema powierzchni bezwzględnie odbijających. W takim razie, gdy *C* jest otwarta, powierzchnia wewnętrzna *B* będzie pobierała ciepło od *D*; ciepło to bądź zapomocą przewodnictwa przekazuje się powierzchni zewnętrznej *B*, bądź też później, gdy *B* jest otwarta, przechodzi drogą promieniowania do *A*. Również i powierzchnia zewnętrzna *C* pobiera ciepło, gdy *C* jest otwarta, i ciepło to oddaje zapomocą promieniowania powierzchni *A*, gdy znów *B* jest otwarta; w ostatnim przypadku przechodzi również prąd ciepła nawskroś *C*. Dlatego też wytwarzamy *B* i *C* z trzech warstw, z których dwie zewnętrzne możliwie dobrze odbijają promieniowanie, średnia zaś możliwie źle przewodzi ciepło. Zapomocą dostatecznego powiększenia objętości, przy niezmiennej grubości warstw, można będzie zawsze sprawić teoretycznie, choć nie — praktycznie, że ciepło, pobierane przez powierzchnie *B* i *C* i napowrót oddawane, będzie małe porównaniu z ciepłem, zawartem pomiędzy *B* i *C* w postaci promieniowania, gdyż pierwsze jest proporcjonalne do powierzchni, a drugie — do objętości. Również i praca, stracona wskutek nieuchronnego tarcia wewnętrznego i zewnętrznego przy składaniu lub wsuwaniu się powierzchni B, a również przy zamykaniu i otwieraniu otworów, jak również, naprzykład, wyrównywanie się ciepła, możliwe przy tej ostatniej operacji, może być w tej samej mierze uczynione nieszkodliwem przez powiększenie objętości, przy niezmiennej grubości; w stanie, któryśmy nazwali otwartym, otwory mogą być również zamknięte zapomocą płytek z soli kamiennej. Zdaje mi się więc, że sprzeczność z drugą zasadą nie jest przez to usunięta; co prawda, prędkość kurczenia się powierzchni *B* nie powinna spadać poniżej pewnej granicy, gdyż inaczej ciepło, przechodzące drogą przewodnictwa przez *B* i *C*, wobec małej grubości ścianek, mogłoby przewyższyć ciepło otrzymane.

Zdaje mi się, że znajdziemy punkt wyjścia w przypuszczeniu, że samo ciepło promieniste bez udziału ośrodka, który je przekazuje, wywiera siłę na ciała. B a r t o l i przyjmuje, że promienie cieplne wywierają na ciała siły, podobnie, jak to obserwowano wielokrotnie w falach głosowych...

---

## DZIAŁ VI.

# WIDMO FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH.

# FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

**Jednostki: $1\mathring{A}\,(A) = 10^{-8}$ cm.; $1\ m\mu = 10^{-7}$ cm.; $1\mu = 10^{-4}$ cm.**

***V*-woltaż minimalny, niezbędny do wytworzenia danego promieniowania.**

| A | λ | V |
|---|---|---|
| $10^{-5}$ | | |
| $10^{-4}$ | 0,000008 mμ | 150000000 |
| $10^{-3}$ | 0,0001 mμ | 12360000 |
| | | 10000000 |
| | | 4000000 |
| $10^{-2}$ | 0,001 mμ | 1236000 |
| $10^{-1}$ | 0,01 mμ | 123600 |
| 1 | 0,1 mμ | 12360 |
| 2.5 | | 1555 |
| 10 | 1 mμ | 1236 |
| 136 100 | 0,01 μ | 123,6 |
| 510 | | 25 |
| 1200 1000 | 0,1 μ | 12,36 |
| 1850 | | |
| $10^{4}$ | 1 μ | |
| | 5,3 | |
| $10^{5}$ | 10 μ 24 | |
| | 94 | |
| $10^{6}$ | 100 μ | |
| | 343 | |
| $10^{7}$ | 1000 μ | |
| | 0,006 m | |
| $10^{8}$ | 0,01 m 0,025 | |
| $10^{9}$ | 0,1 m | |
| $10^{10}$ | 1 m | |
| $10^{11}$ | 10 m | |
| $10^{12}$ | 100 m | |
| $10^{13}$ | 1000 m | |
| $10^{14}$ | 10000 m | |
| $10^{15}$ | | |

PROMIENIE ULTRA-GAMMA (kosmiczne) (Hess, 1912) — 240 … ? Millikan (1928); 540 … ? Millikan (1928)

PROMIENIE GAMMA:
- Promienie γ b. przenikliwe (ThC)
- Prom. γ badane fotoelektrycznie
- Prom. γ badane zapom. dyfrakcji w kryształach
- Prom. γ polonu

ULTRAFIOLET:
- Dzied. Millikana
- " Lymana
- " Schumanna
- Ultrafiolet bliski

PROMIENIE RÖNTGENA badane zapom. dyfrakcji w kryształach:
- Radjoterapja
- Radjografja
- Zwykłe promienie miękkie

PROMIENIE POŚREDNIE: Fe; Holweck (1922); Dauvillier; Thibaud i Sołtan (1927)

PODCZERWONA CZĘŚĆ WIDMA:
- Granica podczerwieni słońca
- Promienie pozostające przy odbiciu od: CaF₂, KJ
- Rubens i Bayer (1913)

Glagolewa Arkadjewa — 124 μ (1924)

Nichols i Tear — 220 μ (1923)

FALE HERTZA:
- Bose i Lebiediew
- Righi
- Hertz (1886)
- Fale krótkie
- Fale średnie
- Fale długie

Rys. 126.

## Rozdział XVI.

### PRZEGLĄD GŁÓWNYCH CZĘŚCI WIDMA.

WIDMEM nazwał Newton pasmo, zawierające barwy od czerwieni do fioletu. Od początku wieku XIX-go aż do chwili obecnej rozszerzano wciąż granice widma, włączając do tej dziedziny badania coraz dalsze obszary promieniowań, dla oka naszego niedostępnych. Cyfry najlepiej uprzytomnią olbrzymi postęp, dokonany przez naukę w zakresie badań spektralnych. Radjotelegrafja wytwarza fale najdłuższe, dochodzące do *30 kilometrów;* w promieniach kosmicznych (jeżeli dalsze badania nie zmienią obecnych poglądów) poznano fale najkrótsze, które się ocenia w przypadku promieni najbardziej przenikliwych na $10^{-12}$ *cm.* Gdybyśmy tę ogromną rozciągłość widma chcieli przedstawić graficznie w skali normalnej, kreśląc odcinki proporcjonalnie do długości fali, i gdybyśmy żądali, aby widmo widzialne zajmowało 4 cm. długości, smuga widma całkowitego opasałaby ziemię 75 razy. Oczywistem jest przeto, że dziś już stosowanie skali normalnej do przedstawienia widma jest niepodobieństwem. Używa się zazwyczaj skali logarytmicznej, która też została zastosowana przy kreśleniu tablicy [1], wklejonej obok.

Czytelnik zechce ogólnie przejrzeć tę tablicę. Uderzającym jest fakt, że z pomiędzy różnych dziedzin widma promienie widzialne stanowią najszczuplejszą. W kolumnie pierwszej, pod nagłówkiem *A*, podano długości fal w jednostkach Angströma ($1\,A = 10^{-8}$ cm.); w kolumnie 2-giej pod literą $\lambda$ podane są długości fal w innych, często używanych jednostkach — milimikronach, mikronach, metrach; 3-cia kolumna wiąże się z teorją kwantów. Wiadomo (patrz str. 337), że, gdy energja kinetyczna elektronów przechodzi kwantowo w energję promienistą, w najlepszym razie cała energja elektro-

---

[1]) Tablica została zapożyczona z książki F. Holwecka „De la lumière aux rayons *X*"; wprowadzono tylko kilka poprawek i uzupełnień.

nu przemienia się w energję kwantów; mamy wówczas równość następującą:

$$Ve = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

W równaniu tem $V$ oznacza woltaż, nadający pęd elektronowi, który posiada ładunek elementarny $= e$, $h$ jest stałą Planck'a, $c$ oznacza prędkość światła, $\nu$ — częstość drgań. W myśl tego wzoru

$$V\lambda = \frac{h \cdot c}{e} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Najczęściej wyraża się napięcie w woltach, a długość fali $\lambda$ — w jedn. Ångströma. Jeżeli prawą część równości będziemy obliczać w jednostkach C. G. S., liczbę woltów $V$ trzeba będzie pomnożyć przez $\frac{1}{300}$ [1]), liczbę angströmów przez $10^{-8}$. Ponieważ $h = 6.55 \times 10^{-27}$ erg. sek., $c = 2.9982 \times 10^{10}$ cm. sek.$^{-1}$, $e = 4.774 \times 10^{-10}$ jedn. elektrostat. C. G. S., więc

$$V \cdot \lambda = 12341.$$

Ze względu na niepewność co do wartości stałych [2]) możemy, nie popełniając praktycznie błędu, założyć, że

$$V\lambda = 12345, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

przyczem $V$ *jest wyrażone w woltach, a* $\lambda$ — *w jedn. Angströma.* W tej postaci wzór jest nader łatwy do zapamiętania, gdyż po prawej stronie zawiera kolejne liczby naturalnie do pięciu [3]). Widzimy na podstawie wzoru (3), że do wytworzenia przenikliwych promieni Röntgena o $\lambda = 0.1\,A$, trzeba rozporządzać na końcówkach rury napięciem niemniejszem, niż 123450 $V$.

Dokonamy poniżej przeglądu głównych części widma.

---

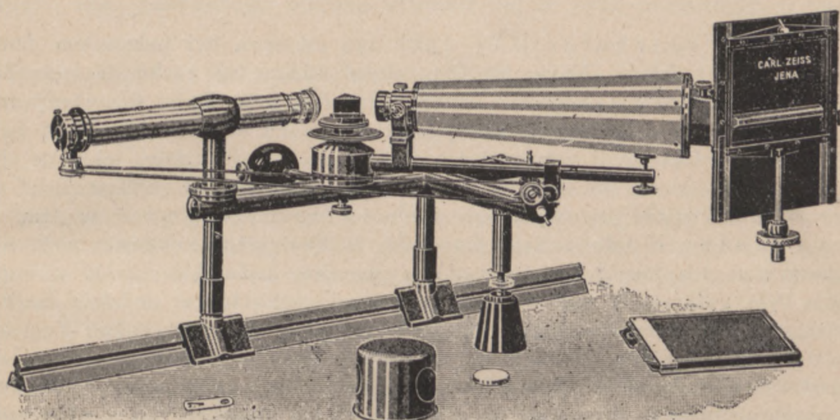
[1]) 1 wolt $= \frac{1}{300}$ jedn. elektrostat. C. G. S.

[2]) Liczby zostały wzięte z ostatniego wydania Tablic Fizycznych Landolta i Börnsteina („Ergänzungsband" z roku 1927). Za najprawdopodobniejszą wartość stałej $h$ uważa Ladenburg, który dał krytyczne zestawienie wartości, $(6.55 \pm 0.01) \times 10^{-27}$ erg. sek.

[3]) W tablicy obok str. 441 zostały wzięte nieco inne (dawniejsze) wartości stałych, według których wartość iloczynu $V\lambda$ wypadła 12360. Różnica jest nieistotna

## I. Część widma widzialna i ultrafiolet bliski.

Część widma widzialna zawiera promieniowania od 4000 do 8000 jednostek Angströma (zaokrąglamy cyfry, ściślej — od jakichś 3900 do 7600); ultrafioletem bliskim nazywamy część widma od 4000 do 1850 *A*. Wspólną cechę obu tych dziedzin stanowi to, że nader łatwo mogą być fotografowane; okoliczność powyższa sprawiła niewątpliwie,




Rys. 127.
Spektrograf do zdjęć w widzialnej części widma i bliskim ultrafiolecie.

że badania naukowe w części widzialnej i bliskim ultrafiolecie były i są najliczniejsze, a pomiary — najdokładniejsze. Poszukiwania w tych dwu dziedzinach doprowadziły do wykrycia seryj widmowych[1]), które stanowią punkt wyjścia w badaniach mechaniki atomów.

Aby otrzymać zdjęcie fotograficzne widma, uciekamy się do spektrografu, który różni się od spektroskopu tem tylko, że lunetę zastępuje się kamerą fotograficzną (rys. 127). Objektyw kamery rzuca obraz widma na kliszę, która nie różni się od klisz zwykle używanych przez fotografów. Jedynie, gdy chodzi o otrzymanie na kliszy części widma czerwonej i żółtej, należy używać klisz panchromatycznych. Spektrografy do zdjęć w części widma widzialnej mogą być zaopatrzone w soczewki i pryzmaty szklane; spektrografy do

---

wobec tego, że *h* nie jest znane z dokładnością, przewyższającą kilka dziesiątych procentu.

[1]) Wiadomości o serjach widmowych podane będą w dziale o budowie atomu.

badań w ultrafiolecie muszą posiadać wszystkie części optyczne z kwarcu krystalicznego, gdyż szkło jest niemal nieprzezroczyste dla fal krótszych, niż 3600 $A$.

Spektroskopja w części widma widzialnej i w bliskim ultrafiolecie osiągnęła najwyższy stopień precyzji przez zastąpienie pryzmatów siatkami dyfrakcyjnemi. Pierwszą siatkę dyfrakcyjną skonstruował Fraunhofer[1]) około roku 1820. Składała się ona z drucików

---

[1]) Józef Fraunhofer (1787—1826) syn szklarza, był jedenastem dzieckiem w domu rodziców. Mając lat $12^1/_2$, został oddany na naukę do monachijskiego szlifierza szkła i wytwórcy luster Weichselbergera. Umiał już wtedy czytać, nieznana mu była jednak umiejętność pisania i rachowania. Miarę nadzwyczajnych zdolności i pracowitości Fraunhofera daje fakt, że już w roku 1807 umiał on stosować wyższą matematykę w obliczeniach soczewek; drugi dowód niepospolitych zdolności musimy upatrywać w tem, że Fraunhofer o tyle posiadł francuski, iż swe prace naukowe mógł sam tłumaczyć na ten język. Terminowanie w zawodzie szklarskim trwało wówczas 6 lat; było związane z ciężką pracą, posługami osobistemi w rodzinie majstra i różnemi poniżeniami. Niezwykły przypadek wpłynął na poprawę losu Fraunhofera. W roku 1801 zawalił się ze starości dom, w którym znajdował się warsztat Weichselbergera. Żona Weichselbergera została zabita; Fraunhofer, przywalony gruzami, niemal cudem uniknął śmierci; wydobyto go z pod rumowiska bez poważniejszych obrażeń. Wypadkiem tym zainteresował się ówczesny kurfirst bawarski Maksymiljan Józef i ofiarował chłopcu 18 dukatów (około 300 złp.), sumę bardzo znaczną, jak na te czasy. Dzięki posiadanym środkom pieniężnym mógł się Fraunhofer przed formalnym końcem nauki wykupić z terminu. W roku 1807 został czeladnikiem w zakładzie mechaniczno - optycznym Utzschneidera i Reichenbacha. Prawdopodobnie pomiędzy 1807 a 1809 zostały wynalezione przez Fraunhofera nowe maszyny i przyrządy do szlifowania i badania szkieł optycznych, gdyż już w roku 1809 zostaje współwłaścicielem firmy, w której pracował.

Pracując nad wydoskonaleniem lunet astronomicznych, których konstrukcją zajmował się w swym zakładzie, zwrócił Fraunhofer uwagę na konieczność dokładnego zbadania spółczynników załamania światła w różnych gatunkach szkła. Próbował on wyodrębnić światło monochromatyczne, posługując się barwnemi szkłami i cieczami, bądź też barwnemi płomieniami, jednak — bez powodzenia, gdyż pryzmat pokazywał za każdym razem, że otrzymane światło nie było dokładnie jednobarwne. Obserwując jednak płomień lampki olejnej lub świecy przy pomocy pryzmatu, zauważył Fraunhofer prążek jasny, jak dziś wiemy, sodowy, pomiędzy czerwoną a żółtą częścią widma. Mając dla swych pomiarów punkt oparcia, zmierzył spółczynnik załamania światła sodowego w różnych szkłach optycznych i w wodzie. Odkrytego prążka żółtego szukał Fraunhofer i w świetle słonecznem, znalazł wszakże zamiast niego mnóstwo cienkich linij ciemnych, silniejszych i słabszych. Odkrywcy udało się zaobserwować 754 linje; pozycję 350 z pomiędzy nich wyznaczył tak dokładnie, że mógł je umieścić w swym rysunku widma słonecznego.

srebrnych, umieszczonych w równych odstępach na ramce metalowej; druciki przechodziły przez nacięcia w śrubach mikrometrycznych, co gwarantowało równość odstępów. Te ostatnie wahały się pomiędzy 0.6866 a 0.0528 mm. Siatek metalowych użył Fraunhofer, między innemi, do wyznaczenia długości fal ciemnych linij w widmie słonecznem, które od niego wzięły swoją nazwę obecną. Talent tego genjalnego optyka ujawnił się w tych badaniach w całej

---

Spektroskop Fraunhofera tem się różnił od dziś używanych, że nie posiadał kollimatora. W odległości kilku (6—7) *metrów* od szpary umieszczał pryzmat, a zaraz za nim — lunetę teodolitu. Obserwowanie zapomocą lunety stanowiło olbrzymi postęp. Uprzednio bowiem poprzestawano bądź na rzucaniu widma na ekran, bądź na obserwowaniu okiem nieuzbrojonem. Warto zauważyć, że już na kilkanaście lat przed Fraunhoferem fizyk angielski Wollaston (lekarz z zawodu) dostrzegł kilka ciemnych linij w widmie słonecznem; jednak opis jego był tak niedokładny, że odkrycie to nie odegrało żadnej roli w nauce.

Posługując się wyżej opisanem narzędziem, zbadał Fraunhofer widmo płomieni, iskier elektrycznych, słońca, gwiazd, planet. Obserwacje te pozwoliły niezbicie ustalić istnienie widm linjowych. Z innych prac naukowych Fraunhofera na największą uwagę zasługują jego badania nad dyfrakcją. Podobnie, jak i obserwacje widmowe, były one dokonane zapomocą lunety, przed którą umieszczano odpowiedni ekran; promienie światła padały na ekran wiązką niemal równoległą. O pomiarze długości fal świetlnych przy zastosowaniu siatek dyfrakcyjnych jest mowa w tekście. W pracach swych poprzestawał Fraunhofer na ścisłem ustaleniu faktów, nie wchodząc w ich powiązanie i wyjaśnienie.

Wielkie zasługi naukowe Fraunhofera tak na polu nauki czystej, jak i techniki, zyskały mu uznanie świata uczonych. Monachijska Akademja Nauk uczyniła go w r. 1817 swym członkiem korespondentem; zakład optyczny, w którym pracował, znajdował się wówczas jeszcze poza stolicą. Było to, jak na owe czasy, odznaczenie niebywałe, jeżeli się zważy, że sto lat temu różnice społeczne grały w życiu nieskończenie większą rolę, niż obecnie, a Frauhofer bądź co-bądź był rzemieślnikiem, nieposiadającym wykształcenia akademickiego. Jego rzekomą niższość dano mu uczuć, gdy w roku 1819 przesiedlił się do Monachjum i pragnął uczęszczać na posiedzenia Akademji. Nie chciano dopuścić do udziału w posiedzeniach tego członka zamiejscowego, wysuwając jako argument niski stopień wykształcenia. Dopiero dzięki staraniom przyjaciół znakomitego badacza mianowano „optyka Fraunhofera" „nadzwyczajnym uczęszczającym członkiem"; tym sposobem nie stał się on równy oficjalnym uczonym, ale uzyskał prawo uczestniczenia w posiedzeniach. Ten drobny fakt dobrze charakteryzuje kastowy charakter, jaki miały instytucje naukowe w Niemczech jeszcze przed stuleciem. Tembardziej zasługuje na podkreślenie, iż po ogłoszeniu przez Fraunhofera dużej rozprawy o dyfrakcji uniwersytet w Erlangen nadał mu tytuł doktora honorowego.

Aż do ostatnich lat życia zajmował się Fraunhofer optyką praktyczną. W r. 1824 wykończył wielki refraktor dla Obserwatorjum w Dorpacie; doskonałością strony optycznej i mechanicznej wzbudziło to narzędzie wówczas podziw ogólny. Zmarł w r. 1826.

pełni. Średnia z pomiarów, dokonanych przy użyciu 10-ciu różnych siatek drucianych, dała na $\lambda$ linij $D$ (sodu) 0.0005889 mm.; wartość przyjęta obecnie = 0.0005893 mm. Błąd jest mniejszy, niż $^1/_{10}\,^0/_0$, choć kąty ugięcia, które mierzył Fraunhofer, były rzędu 1 minuty; wynikało to, oczywiście, ze stosunkowo dużych odstępów pomiędzy drucikami.

Dokładność pomiarów powiększył później Fraunhofer znakomicie przez zastosowanie siatek dyfrakcyjnych, kreślonych djamentem na szkle. Udawało mu się otrzymywać do 300 rys na milimetrze płaskiej powierzchni szklanej.

Śladem Fraunhofera poszedł Ångström, który wydał w roku 1868 atlas widma słonecznego, nazwany przezeń normalnem widmem słońca. W atlasie tym odstępy pomiędzy linjami Fraunhofera uczyniono proporcjonalnemi do różnic długości fal. Wydawnictwo opierało się na pomiarach Ångströma, wykonanych z niezwykłą, jak na te czasy, precyzją i kompletnością. Badacz szwedzki przemierzył wszystkie silniejsze linje w widzialnej części widma słonecznego, posługując się siatkami dyfrakcyjnemi na szkle. Wyniki swych pomiarów wyrażał w stumiljonowych częściach centymetra (jednostka ta na jego cześć otrzymała nazwę „Angström"), podając jeszcze dwie cyfry po przecinku. Na nieszczęście wzorzec metra, którym się posługiwał, był błędnie porównany z wzorcem paryskim. Błąd przewyższał $^1/_{100}\,^0/_0$, był zatem kilkadziesiąt razy większy od domniemanego błędu obserwacyj Ångströma[1]). Prace Ångströma stanowiły epokę w spektroskopji: on pierwszy konsekwentnie zrealizował ideę, że linje widmowe należy charakteryzować ściśle objektywnie, biorąc za podstawę pomiary długości.

Dalsze postępy w precyzji pomiarów spektralnych można było osiągnąć tylko na drodze zmniejszenia odstępu pomiędzy rysami siatki dyfrakcyjnej. Szkło, jako materjał łatwo szczerbiący się, nie nadawało się do tego celu. Fizyk amerykański Rowland wpadł na doskonałą myśl kreślenia rys na metalu. Takie siatki dyfrakcyjne mogą być używane, oczywiście, jedynie w świetle odbitem, gdyż są nieprzezroczyste. Technikę sporządzania siatek metalowych udoskonalił Rowland do tego stopnia, że otrzymywał przeszło 1000 rys na 1 milimetrze, choć najczęściej sporządzał siatki o 600 rysach. Wyobraźmy sobie 100000 rys, długości 5 centymetrów każda, popro-

[1]) Wszystkie liczby Ångströma przerachował potem ponownie uczeń jego Thalén, uwzględniając poprawkę na błąd w pomiarze wzorca długości.

wadzonych w dokładnie równych odstępach, wynoszących po jedną pięćsetną milimetra, a napewno zgodzimy się, że siatka dyfrakcyjna jest jednym z najcudowniejszych wytworów techniki ludzkiej. Wykonanie nie przyszło łatwo. Trzeba było zacząć od takiego udoskonalenia śruby maszyny dzielniczej, by krok jej na dużej długości był zupełnie równomierny; trzeba było miesiącami wyszukiwać djamentu, któryby miał dostatecznie ostrą krawędź, by dawał rysy gęste, a nie zachodzące na siebie; trzeba było całą instalację do kreślenia siatek przenieść do podziemi uniwersytetu w Baltimore, by móc utrzymywać wszystkie części przyrządu w stałej temperaturze przez godzin kilkadziesiąt, — tyle bowiem czasu trzeba, by nakreślić rysy jednej siatki. Trudności te i cały szereg innych przezwyciężył Rowland dzięki swemu talentowi, pracowitości, sile woli i energji w pokonywaniu przeszkód.

Po otrzymaniu siatek płaskich na metalu (używano specjalnego stopu, zwanego zwierciadlanym, odznaczającego się miękkością i dużą, równomierną zdolnością odbijania wszystkich promieni widma), wynalazł Rowland nowy typ siatek, również na metalu kreślonych, — siatek wklęsłych. Skupiają one światło, na podobieństwo wklęsłych zwierciadeł; mogą zatem być używane bez stosowania jakichkolwiek soczewek; ma to doniosłe znaczenie, jak zobaczymy niżej, w badaniu promieni bardzo krótkiej fali, łatwo ulegających pochłanianiu przez soczewki. Siatki wklęsłe zapewniają, prócz tego, możność specjalnie dogodnego dokonywania nader precyzyjnych pomiarów.

Siatka dyfrakcyjna była dla badacza amerykańskiego nie celem, lecz środkiem. Posługując się swym wynalazkiem, dokonał wiekopomnego dzieła: wydał wielki, nieprześcigniony atlas widma słonecznego długości kilkunastu *metrów*.

Rowland, jak i Ångström, wymierzył ściśle linje Fraunhofera w widmie słonecznem i stworzył układ wartości liczbowych, który miał być podstawą spektroskopji. I tym razem okazało się, że dokonywanie pomiarów z dokładnością do ułamka tysiącznych części procentu nie jest rzeczą tak prostą, jak się wydawało pierwotnie. Wiemy dziś, że liczby Rowlanda nie są dokładne; błąd, wynoszący w zielonej części widma około 0.2 *A*, przewyższa znacznie błędy pomiarów obecnych.

Ułożono tabelę poprawek dla liczb Rowlanda. Zamiast jego skali, posługujemy się dziś skalą międzynarodową, która opiera się na pomiarach długości fali, przeprowadzonych zapomocą interfero-

metrów. Za punkt wyjścia wzięto pomiar długości fali czerwonej linji kadmu, dokonany przez francuskich uczonych Benoît, Fabry i Perot. Otrzymali oni

$$\lambda \text{ czerwonej linji kadmu} = 6438{,}4696 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

Interesującą jest nie liczba sama, lecz stopień dokładności, jaki osiągnięto w badaniach; w tym przypadku spektroskopja pozostawiła w tyle astronomję, która ze wszystkich nauk mierzących dotychczas uzyskiwała największą precyzję.

Znaczenie spektroskopji w badaniach chemicznych jest powszechnie znane. Mylnem jest mniemanie, że dopiero Kirchhoff i Bunsen w r. 1859 zauważyli, że pewnym pierwiastkom odpowiadają określone linje widmowe. Wiedzieli o tem liczni ich poprzednicy, że wymienimy tu tylko Wheatstone'a, Ångströma, Plückera. Wszelako nikt nie wpadł na myśl, żeby metodę widmową systematycznie stosować w chemji. Niewątpliwie czułość reakcji optycznej sodu była przyczyną, dla której poprzednicy Kirchhoffa i Bunsena stawali wpół drogi; znajdowali oni żółtą linję we wszystkich niemal widmach iskrowych, a nie wiedząc, że należy ona do *Na*, nie byli w stanie wyciągnąć należytych wniosków ze swych spostrzeżeń. W badaniach Kirchhoffa i Bunsena najbardziej zasadniczem było stwierdzenie, że żółtą linję spotyka się tam, gdzie istnieje niewątpliwa, choć minimalna, domieszka sodu [1]). Metoda spektralna nie wyparła bynajmniej normalnych metod analizy chemicznej, — przedewszystkiem ze względu na skomplikowany charakter widm. Stanowi ona jednak potężny środek pomocniczy. Na drodze widmowej wykryto liczne pierwiastki, jak: cez, rubid, tal, ind, gal, hel, neon, krypton, ksenon.

Wspominaliśmy już o tem, że niema zasadniczej różnicy pomiędzy zdjęciami fotograficznemi linij widzialnych a linij nadfiołkowych. Właśnie na drodze reakcji fotochemicznej został ultrafiolet odkryty w roku 1801 przez J. W. Rittera, który stwierdził, że zmiana barwy chlorku srebrowego daje sę dostrzec i poza fioletową częścią widma. Duże trudności napotyka eksperymentator dopiero w dalekim ultrafiolecie, o którym mowa poniżej.

---

[1]) Czytelnik znajdzie dalej rozprawę oryginalną tych autorów.

**II. Ultrafiolet daleki** (Schumann'a, Lyman'a, Millikan'a).

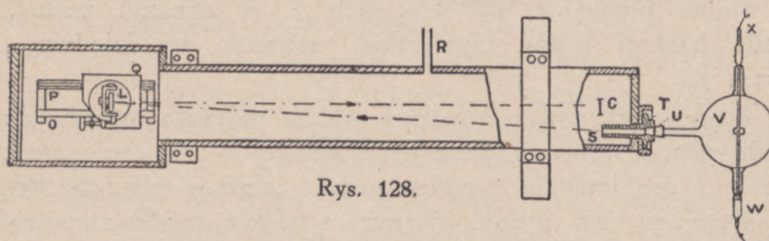
Dokonywując zdjęć widmowych w ultrafiolecie, dostrzegamy, że już w okolicy 2000 Å linje widmowe są stosunkowo słabe wskutek wzomożonej absorbcji kwarcu, z którego są sporządzane soczewki i pryzmaty spektrografu. Stosując nawet bardzo silne źródła promieniowania, dochodzi się tylko do 1850 Å. Wiktor Schumann pierwszy potrafił przezwyciężyć przeszkody, napotykane w badaniach nad dalszym ultrafioletem, i zdołał wszechstronnie poznać część widma pomiędzy 1850 Å a 1220 Å. W uznaniu zasług niezmiernie trudnej pracy pionierskiej nazwano tę dziedzinę jego imieniem [1]).

Dla opanowania nowej dziedziny widma należało przezwyciężyć: a) pochłanianie promieniowania przez kwarc, b) absorbcję przez powietrze, c) pochłanianie promieni przez żelatynę klisz fotograficznych. Schumann usunął pierwsze i trzecie źródło niepowodzeń, zastępując kwarc fluorytem i przygotowując specjalne klisze, zwane do dziś Schumannowskiemi, których warstwa światłoczuła zawierała bardzo niewielkie ilości żelatyny. Trudniej było wyeliminować szkodliwy wpływ powietrza. Siła absorbcji powietrza jest taka, że promieniowanie o długości fali 1750 Å znika całkowicie po przejściu warstwy atmosfery grubości 1 cm., gdy 1940 Å przechodzi jeszcze swobodnie przez warstwę powietrza grubości 14 metrów. Należało

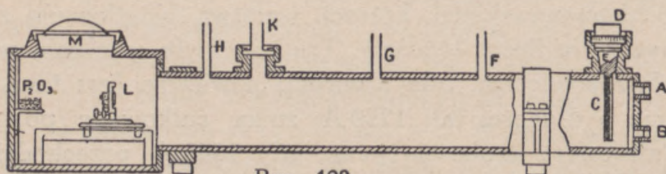
---

[1]) Badacz ten pracował w warunkach nad wyraz ciężkich. Urodzony w r. 1841, W. Schumann ukończył szkołę rzemieślniczą w Chemnitz w r. 1864; w szkole tej nabrał zręczności w pracach mechanicznych; uzdolnienła w tym kierunku miały decydujące znaczenie w jego pracy naukowej. Badaniom naukowym mógł się Schumann oddać stosunkowo późno, gdyż dopiero po czterdziestym roku życia. Najlepsze lata wieku męskiego upłynęły mu na pracy w przemyśle, gdzie był zatrudniony zrazu jako rysownik, a potem — w charakterze mechanika. Dorobiwszy się pewnej fortuny, stał się współwłaścicielem zakładu mechanicznego, co pozwoliło mu rozporządzać funduszami, niezbędnemi do konstrukcji aparatów spektralnych, które budował całkowicie na koszt własny. Pierwsze prace Schumanna ukazały się w roku 1885 i 1886; dotyczyły one fotografji i analizy widmowej. Dopiero w cztery lata później ogłosił swe początkowe badania nad ultrafioletem. Jest rzeczą godną uwagi, że badania te, wymagające dużego wysiłku myśli i rąk, zostały przeprowadzone przez autora w chwilach wolnych od ciężkiej pracy zarobkowej, co najlepiej charakteryzuje jego siłę woli. Dopiero w roku 1892, porzuciwszy pracę zarobkową, poświęcił się Schumann całkowicie nauce. Już w roku 1897 stan zdrowia jego począł budzić poważne obawy. Były to skutki pracy ponad siły w latach młodszych. Od roku 1903 zmuszony był zarzucić wszelkie badania eksperymentalne. Umarł w r. 1913.

się zdecydować na skonstruowanie spektrografu próżniowego. Różnił się on od spektrografu zwykłego tem tylko, że pryzmaty, soczewki, klisza fotograficzna były umieszczone w pudle metalowem, z którego wypompowywano powietrze. Przyrząd był pod względem mechanicznym świetnie opracowany: wszelkich ruchów regulacyjnych, a było ich osiem, dokonywano *zzewnątrz*, nie psując próżni uprzednio wytworzonej. Talent konstrukcyjny Schumanna charakteryzuje fakt, że przyrząd nie był stopniowo, w miarę dokonywania do-




Rys. 128.




Rys. 129.

Figury dają przyrząd Mac-Lennana w rzucie na płaszczyznę poziomą (rys. 128) i pionową (rys. 129). *L* oznacza na obydwu rysunkach siatkę dyfrakcyjną, $P_2O_5$ — naczynie, zawierające pięciotlenek fosforu do suszenia. *S* oznacza szparę, na którą padają promienie, wysyłane przez lampę *V*. *M* jest przykrywką szlifowaną; zdjąwszy przykrywkę, eksperymentator reguluje ustawienie siatki *L*. Rury *H*, *K*, *G* i *F* służą do wytwarzania próżni. Kanał *R* łączy aparaturę z rurką do wyładowań; pozwala ona kontrolować stopień rozrzedzenia.

świadczeń, ulepszany, lecz został odrazu zaprojektowany w postaci najzupełniej odpowiadającej celowi. Źródło światła stanowiła rurka Geisslerowska lub iskiernik specjalnej konstrukcji, oddzielony od właściwego przyrądu zapomocą płytki fluorytowej.

Używając spektrografu tego typu, Schumann, a następnie i inni badacze, dokonali w tej dziedzinie widma pomiarów tak emisji, jak i absorbcji. Ciekawem jest, że niektóre gazy, jak wodór, hel, argon, są niemal zupełnie przezroczyste dla promieniowania Schumanowskiego.

Główną wadę spektrografu Schumanna stanowiło to, że nie dawał on możności dokładnego wyznaczenia długości fal badanych. T. Lyman w Ameryce pierwszy zdołał wymierzyć dokładnie widma w dziedzinie Schumannowskiej, zastępując pryzmat fluorytowy siatką dyfrakcyjną wklęsłą. Przy użyciu siatki wklęsłej unika się zupełnie potrzeby wprowadzania w bieg promieni fluorytu, który silnie pochłania fale krótkie, poczynając od 1200 Å. Dzięki zastosowaniu siatki zdołał Lyman ponownie znacznie przesunąć granicę widm w stronę fal krótkich, doprowadzając swe badania w przybliżeniu do 500 Å. Spektrograf Lyman'a w postaci, jaką mu nadał później Mac Lennan, został przedstawiony na rys. 128 i 129 w przekrojach pionowym i poziomym.

*L* na obydwu rysunkach oznacza siatkę dyfrakcyjną wklęsłą, umieszczoną na specjalnej podstawce *Q*. Na rysunku dolnym widać za siatką naczyńko z $P_2O_5$, który służy do osuszania wnętrza spektrografu. Po prawej stronie przyrządu *C* oznacza kasetę, w której się umieszcza kliszę. Szpara *S*, widoczna tylko na górnym rysunku, łączy się bezpośrednio z lampą łukową *V* specjalnej konstrukcji, której tu nie będziemy opisywać [1]).

Światło, wychodzące ze szpary, ustawionej poziomo, pada na siatkę dyfrakcyjną wklęsłą, której rysy są również poziome. Na kliszy, znajdującej się w *C*, tworzy się wówczas widmo, rozciągnięte pionowo. Spektrograf pracuje bądź w dość daleko posuniętej próżni, rzędu klku tysięcznych mm. słupa rtęci, bądź też zawiera wodór lub hel pod zmniejszonem ciśnieniem. Jakeśmy już wspominali, gazy te pochłaniają b. słabo promienie dalekiego ultrafioletu [2]).

Posługując się aparaturą tego typu, zdołał Lyman zbadać dziedzinę widmową, sięgającą aż do 500 Å. Dokonał on szeregu niezmiernie ważnych dla teorji budowy atomu odkryć, że przypomnimy np. serję, nazwaną jego imieniem, którą napotkamy przy omawianiu widma wodoru jednoatomowego (rozdz. o budowie atomu).

Dalsze postępy w opanowaniu widma fal krótkich zawdzięczamy również amerykanom, Millikanowi i jego uczniom. Posunęli oni obserwacje aż do 136,6 Å, dzięki wprowadzeniu dwu nowych czynników: 1) zdołali wytworzyć w spektrografie próżnię znacznie wyż-

---

[1]) Wyjaśnienie pozostałych liter rysunku znajdzie czytelnik pod rysunkiem.

[2]) Całość jest umieszczona w rurze mosiężnej długości 1 metra, o średnicy 15 cm. Siatka dyfrakcyjna *L* znajduje się w dolutowanej do głównego korpusu komorze, która, przy długości 30 cm., ma 20 cm. średnicy.

szą, aniżeli ta, którą osiągali poprzednicy; 2) użyli, jako źródła światła, iskry krótkiej, lecz niezmiernie intensywnej („gorącej"), obfitującej w promienie skrajnego ultrafioletu. Próżnię swą oceniają autorowie amerykańscy na jakieś $10^{-6}$ mm. sł. rtęci[1]); próżnia tak kompletna pozwoliła uniknąć absorbcji promieniowania. W doskonałej próżni na wytworzenie małej iskierki, gdy odstęp pomiędzy elektrodami jest rzędu 1 mm., potrzeba kilkudziesięciu tysięcy woltów. Iskierki wytwarzano zapomocą wyładowań potężnej cewki Ruhmkorffa, zawierającej w swym obwodzie wtórnym baterję butelek lejdejskich. Żadne inne źródło światła nie daje w tej dziedzinie krótkofalowej promieniowania dość intensywnego, by mogło być badane zapomocą siatki dyfrakcyjnej. Poza wskazanemi zmianami, aparat Millikana nie różnił się zasadniczo od spektrografu Lymana. Używał on, jak i poprzednicy, siatki dyfrakcyjnej wklęsłej, posiadającej około 500 rys na milimetrze.

Badaniami swemi nietylko osiągnął Millikan rekord krótkości fali, lecz i wyjaśnił szereg zagadnień, posiadających wielką doniosłość z punktu widzenia nauki o promieniowaniu atomów. W tych krótkich, „gorących" iskrach, jak je nazwano, niezmiernie często występują atomy, pozbawione swych elektronów zewnętrznych[2]), t. zw. atomy wielokrotnie zjonizowane. Prace Millikana, Bowena, Sawyera i innych w dziedzinie fal skrajnego ultrafioletu pozwoliły ustalić prawa, rządzące widmami atomów zjonizowanych. Prawa te omówimy w rozdziale, poświęconym budowie atomu.

### III. Promienie Röntgena i promienie gamma.

Podkreśla się nieraz, że doba obecna jest w fizyce epoką rewolucyjną, że nie możnaby wskazać w historji nauk fizycznych czasów również bujnego, wszechstronnego rozwoju. Za moment przełomowy, za początek nowej epoki niewątpliwie należy uważać odkrycie promieni Röntgena. Ich niezwykłe własności, nieprzewidziane przez żadną z ówczesnych teoryj, skierowały baczną uwagę eksperymentatorów na promieniowania niewidzialne. Wkrótce też wykryto promieniotwórczość. Potem w szybkiem już tempie ustalono, że atom nie jest niepodzielny i niezmienny, że masa nie jest stała, że teorja falowa nie tłumaczy całokształtu zjawisk optycznych, zakwestjonowa-

---

[1]) Niektórzy badacze zapatrują się sceptycznie na możność otrzymania tak wysokich rozrzedzeń w skomplikowanym aparacie metalowym.

[2]) Amerykanie nazwali je „stripped atoms" — atomami ogołoconemi

no zatem dogmaty, na kórych się opierała tak zwana fizyka klasyczna wieku XIX-go. Odkrycie promieni Röntgena zapoczątkowało erę, w której głównym przedmiotem zainteresowania stała się fizyka atomu.

Röntgen dokonał swego odkrycia wypadkowo w roku 1895. Nazwał odkryte promienie „promieniami *X*"[1]) ze względu na ich zupełnie zagadkowy charakter. Nie podlegały one żadnemu z praw optyki, nie dawały zjawiska interferencji; okazywały natomiast niezwykłą zdolność przenikania przez ciała materjalne. Z własności pozytywnych promieni *X*, zbadanych w ciągu najbliższych lat po ich odkryciu, zasługuje na specjalną uwagę zdolność jonizowania gazów, t. j. czynienia ich przewodnikami dzięki wytwarzaniu jonów dodatnich i ujemnych.

W pierwszych latach rozmaicie pojmowano zagadkowe promienie; między innymi, Röntgen sam skłaniał się przez czas pewien ku hipotezie, że promienie *X* są falami *podłużnemi* eteru; Barkla przypuszczał, że to są promienie korpuskularne. Sprawa wyjaśniła się ostatecznie w roku 1912, gdy Friedrich i Knipping, realizując myśl Lauego[2]), otrzymali po raz pierwszy na kliszy prążki dyfrakcyjne promieni Röntgenowskich. Ponieważ już w roku 1905 Barkla stwierdził polaryzację promieni *X*, nie ulegało więc wątpliwości, że promienie Röntgena mają charakter falowy i, podobnie jak światło, składają się z fal poprzecznych. Od tej chwili dalsze postępy badań poszły już w nader szybkiem tempie. Najważniejszy moment stanowiło odkrycie metod, pozwalających stworzyć spektroskopję promieni Röntgena. Rozpatrzymy poniżej optykę promieni *X*, uwzględniając stronę historyczną.

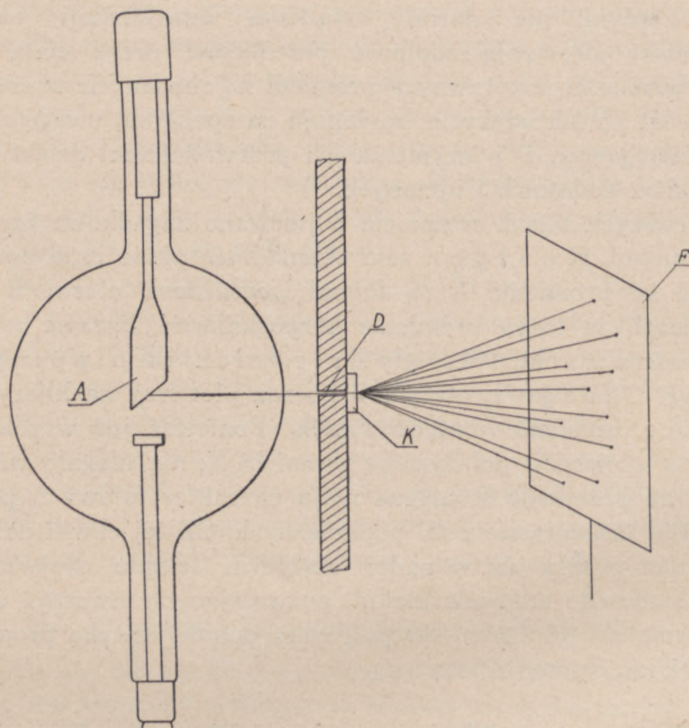
**A. Interferencja i dyfrakcja promieni Röntgena.** Zręczni i pracowici eksperymentatorzy próbowali jeszcze w roku 1902 wykazać dyfrakcję promieni Röntgena przy ich przechodzeniu przez nader wąskie szczeliny. Otrzymane zdjęcia fotograficzne można było interpretować w sensie dyfrakcji, jednak wielkość zjawisk była tak nieznaczna, iż nic pewnego o uginaniu się promieni *X* nie można było

---

[1]) Będziemy poniżej używać terminu promienie Röntgena, narówni z terminem promienie *X*. Tej ostatniej nazwy używają obecnie prawie wyłącznie autorowie angielscy. Usprawiedliwia ją tylko tradycja, gdyż natura promieni *X* została zupełnie wyjaśniona dzięki badaniom ostatniego dwudziestolecia.

[2]) Friedrich, Knipping, Laue. Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen. Ann. d. Phys., t. 41, 1913, s. 971.

orzec, — chyba to, że długość fali tych promieni musiała być minimalna, rzędu $10^{-9}$ cm. Przy kreśleniu siatek dyfrakcyjnych odstępy pomiędzy rysami w najlepszym razie są rzędu tysiącznych części milimetra; niepodobna było myśleć o mierzeniu długości fal Röntgenowskich zapomocą siatek, wytworzonych mechanicznie, gdyż kąty ugięcia byłyby rzędu ułamka minuty łuku. M a x v o n L a u e

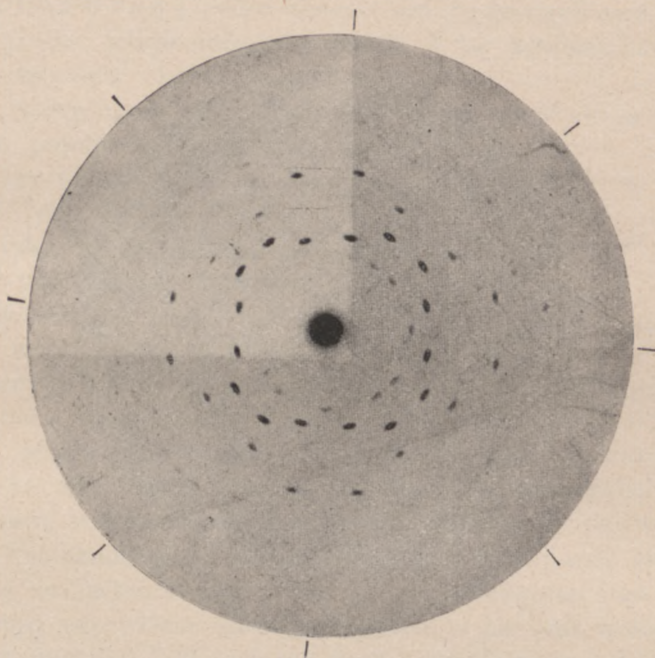



Rys. 130.
Doświadczenie F r i e d r i c h a i K n i p p i n g a
(realizacja idei L a u e'go).

wpadł na genjalny w swej prostocie pomysł wyzyskania regularnej budowy kryształów. Aby wytłumaczyć prawidłowość struktury krystalicznej, zakładano oddawna w krystalografji (B r a v a i s), że kryształ składa się z molekuł [1]), rozmieszczonych prawidłowo, tworzących siatkę trójwymiarową (na rys. 137 pokazany jest układ mole-

[1]) Badania struktury ciał krystalicznych, dokonane przy użyciu promieni $X$, wykazały, że siatkę krystaliczną tworzą atomy lub ugrupowania atomów.

kuł w krysztale; zostały one przedstawione w postaci czarnych i białych kółek). Odległość elementów siatki nie była dokładnie znana. Wprowadzając pewne przypuszczenia, obliczano, że odległość pomiędzy elementami siatki krystalicznej musi być rzędu $10^{-8}$ cm. Laue rzucił myśl, że siatka krystaliczna powinna uginać promienie Röntgenowskie i dawać figury dyfrakcyjne, analogiczne do tych, jakie daje,



Rys. 131
Figura dyfrakcyjna, otrzymana przy przechodzeniu promieni $X$ przez kryształ blendy cynkowej wzdłuż poczwórnej osi symetrji

naprzykład, gęsta równomierna tkanina w rodzaju jedwabiu, cienkiego płótna, gdy przez nią patrzeć na oddalone silne źródło światła, np. na lampę łukową, a nawet — latarnię uliczną. Friedrich i Knipping zrealizowali doświadczenie w sposób, który ilustruje schematycznie rysunek 130. Promienie Röntgenowskie, wychodzące z antykatody $A$, przechodzą przez mały okrągły otwór w diagramie $D$, a następnie padają na kryształ $K$. Wiązki, ugięte w krysztale, napotykają dalej kliszę fotograficzną $F$. Dwa zdjęcia z pierwszej publikacji odkrywców pokazane są na rysunkach 131 i 132. Te piękne foto-

grafje naocznie wykazują i falowy charakter promieniowania Röntgenowskiego, i symetrję rozkładu centrów dyfrakcyjnych wewnątrz kryształów. Obydwa zdjęcia dotyczą blendy cynkowej; na zdjęciu rys. 131 promienie biegną wzdłuż poczwórnej osi symetrji; rys. 132 odpowiada osi potrójnej. Do pomiarów długości fali zdjęcia tego rodzaju nie nadają się ze względu na skomplikowany charakter zjawisk, wytwarzanych przez siatkę przestrzenną.



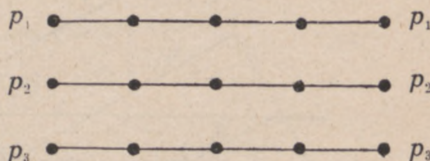
Rys. 132.
Blenda cynkowa, oś potrójna (p. rys. 131).

Dokonane w Niemczech odkrycie dyfrakcji promieni *X* wzbudziło wszędzie jak najżywsze zainteresowanie. W Anglji próbował dać wyjaśnienie zjawiska L a u e g o młody fizyk W i l l i a m L a w r e n c e B r a g g [1]). Wyobrażał on sobie, że plamki interferencyjne są wytwarzane wskutek odbijania promieni Röntgena przez płaszczyzny, w których gęstość rozmieszczenia atomów jest największa. Wychodząc z założenia, że takie płaszczyzny są płaszczyznami łupliwości kryształu, próbował W. L. B r a g g wykazać, że odłupane blaszki miki silnie odbijają fale Röntgenowskie. Istotnie, jeszcze w r. 1912 udało się temu badaczowi wykazać, że mika daje odbicie promieni *X*.

[1]) Ur. w roku 1890.

Ojciec jego, William Henry Bragg[1]), dowiódł wkrótce potem, że promienie $X$, odbite od blaszek mikowych, posiadają zdolność jonizowania gazów. Dziś, rozumie się, ta właściwość promieni odbitych wydawałaby się a priori pewna, wiadomo bowiem, że i promienie padające jonizują gazy. Wówczas jednak można było mniemać, że przy odbiciu od powierzchni krystalicznej wytwarzane jest promieniowanie o własnościach odmiennych od promieniowania padającego.

W roku 1913 Braggowie ojciec i syn zjednoczyli swe usiłowania, by wyjaśnić istotę odbicia promieni $X$ od powierzchni krystalicznych i wspólnie skonstruowali przyrząd, który pozwolił badać spektralnie promienie Röntgenowskie. W pracy, przedstawionej Królewskiemu Towarzystwu w kwietniu tegoż roku[2]), wykazali oni, że odbicie od powierzchni krystalicznej posiada charakter selektywny i że przy użyciu promieni monochromatycznych występują ostro zaznaczone maxima, gdy promienie, uginane przez atomy kolejnych warstw kryształu wzmacniają się wzajemnie przez interferencję. Wyobraźmy sobie przekrój przez kryształ (rys. 133); czarne punkty oznaczają poszczególne atomy.



Rys. 133.
Warstwy atomów w krysztale.

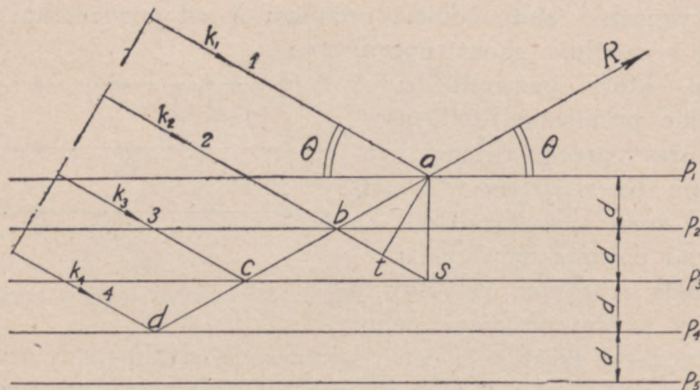
Każdy atom rozprasza we wszystkich kierunkach padające nań promienie Röntgenowskie pierwotne; tym sposobem każdy atom promieniuje na wszystkie strony. Atom wraz z należącemi doń elektronami zajmuje, oczywiście, sporą przestrzeń, a nie jest ściśle umiejscowiony w punkcie, jakby można było pomyśleć na podstawie rysunku; wobec tego mamy prawo wyobrazić sobie, że kolejne płaszczyzny $p_1 p_1$, $p_2 p_2$, $p_3 p_3$ i t. d. wysyłają promienie wtórne, Za-

---

[1]) Sir William Henry Bragg urodził się w r. 1862. Już w roku 1886 był profesorem fizyki i matematyki w Adelajdzie, w Południowej Australji. W roku 1909 został profesorem w Leeds, w 1915 — w Uniwersytecie Londyńskim. W roku 1915 wraz ze swym synem otrzymał nagrodę Nobla. Główną zasługę obydwu tych fizyków stanowiło zbadanie wewnętrznej budowy kryształów, t. j. układu atomów w kryształach, zapomocą skonstruowanego przez nich spektrometru do promieni Röntgenowskich. Ich też należy uważać za inicjatorów spektroskopji promieni $X$.

[2]) The reflection of $X$-rays by crystals. By W. H. Bragg, M. A., F. R. S., Cavendish Professor of Physics in the University of Leeds, and W. L. Bragg, B. A., Trinity College Cambridge. Proceedings of the Royal Society, 1913, *A*, tom 88, s. 428.

łóżmy teraz, że na kryształ pada wiązka promieni równoległych $k_1 a$, $k_2 b$, $k_3 c$ i t. d. rys. 134). Kolejne warstwy atomów odbijają jakby te promienie według prawa równości kątów. (W rozważaniach, dotyczących promieni *X*, bierze się zazwyczaj nie kąt padania, jak w optyce, lecz kąt dopełniający, zwany *kątem połysku*,—Θ na rys. 134). Począwszy od punktu *a*, wszystkie promienie przebiegają tę samą drogę *ak*; do punktu *a* promień pierwszy przebiega $k_1 a$, promień drugi —




Rys. 134.
Interferencja promieni odbitych od kryształu.

$k_2 b + b a$. Z konstrukcji widać odrazu, że $b a = b s$. Wobec tego widocznem jest, że różnica dróg tych promieni $= ts$. Z trójkąta *tas* widać, że

$$ts = 2d \, . \, sin\Theta$$

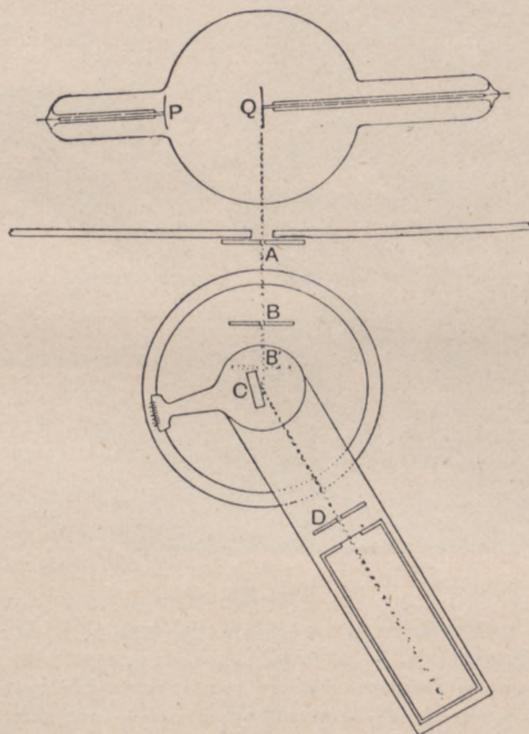
gdzie *d* oznacza odległość pomiędzy kolejnemi warstwami odbijającemi. Promienie będą się wzajemnie wzmacniały, gdy ta różnica dróg będzie równa całkowitej liczbie fal. A zatem warunek otrzymania maksymalnej intensywności promieni odbitych brzmi:

$$n\lambda = 2\, dsin\Theta\,, \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (1),$$

*n* oznacza w tym wzorze jedną z liczb szeregu naturalnego. Wyrażenie powyżej otrzymane nosi nazwę *wzoru Braggów* [1]); posiada on znaczenie podstawowe w spektroskopji promieni *X*. Z wzoru tego widać, że używając danego kryształu i stosując promienie *X* o określonem λ (monochromatyczne), powinniśmy obserwować odbicie o ma-

[1]) Właściwie wzór podał po raz pierwszy Bragg - syn.

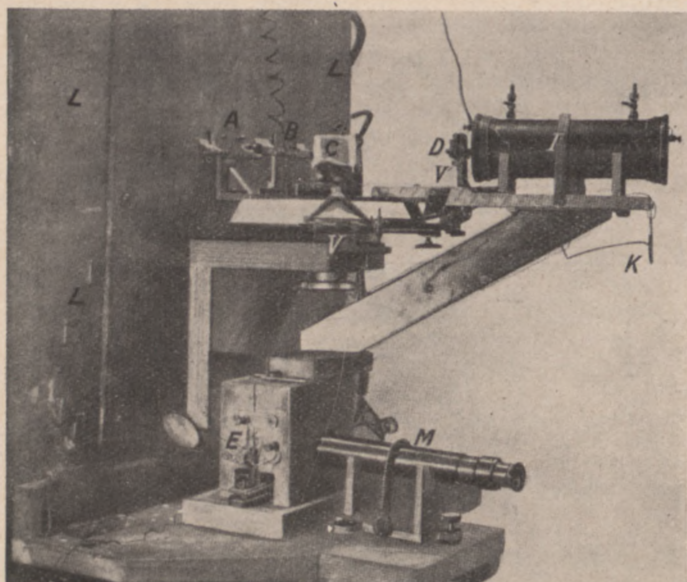
ksymalnem natężeniu przy szeregu różnych kątów rosnących: $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ odpowiednio do $n = 1, 2, 3...$ Te maxima różnych rzędów są analogiczne do maximów intensywności, obserwowanych przy użyciu zwykłych siatek dyfrakcyjnych. Maximum danego rzędu musi wypaść pod określonym kątem dla każdej wartości $\lambda$; tym sposobem odbicie od powierzchni krystalicznej pozwala oddzielać promieniowania o różnej długości fali.




Rys. 135.
Schemat spektrometru jonizacyjnego Braggów.

**B. Spektroskopja promieni Röntgena.** Urządzenie pierwszego spektrometru do promieni *X* wyjaśnia schematyczny rys. 135. Promienie, wychodzące z antykatody *Q*, przechodzą przez szpary *A*, *B*, *B'* w zasłonkach ołowianych. Padają następnie na kryształ, umieszczony w *C*, i po odbiciu odeń, przeszedłszy przez szparę w *D*, przenikają do komory jonizacyjnej, której połączenie z elektrometrem nie zostało pokazane na rysunku. Stolik spektrometru, niosący kryształ *C*, daje się obracać o określony kąt, odczytywany zapomocą

nonjusza; komorę jonizacyjną ustawia się zawsze tak, by kąt padania był równy kątowi odbicia. Rysunek 136 jest fotografją aparatu. *L* jest zasłoną z blachy ołowianej, za którą znajduje się rura Röntgenowska, *C* oznacza kryształ; *A*, *B* i *D* są to szpary, *I* jest to komora jonizacyjna, połączona z elektroskopem *E*, znajdującym się na dole, pod właściwym spektrometrem; mikroskop *M* służy do obserwowania

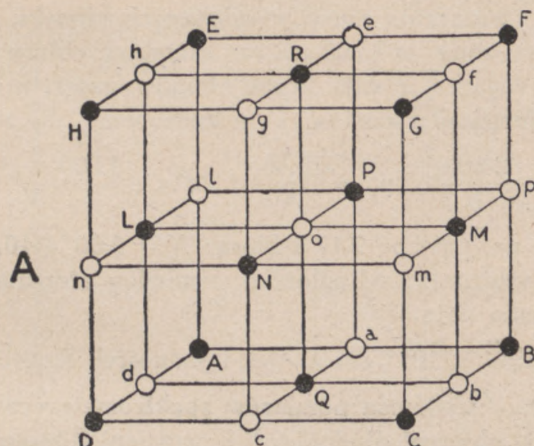



Rys. 136.
Fotografja spektrometru Braggów (p. rys. 135). *L* — zasłona z blachy ołowianej; *C* — kryształ; *A*, *B* i *D* szpary w zasłonkach ołowianych; cyfra I oznacza komorę jonizacyjną, połączoną z elektroskopem *E*; *M* — mikroskop; *v* i *v'* — nonjusze.

ruchu listka elektroskopu; *V* i *V'* są to nonjusze do odczytywania pozycji kryształu i komory jonizacyjnej.

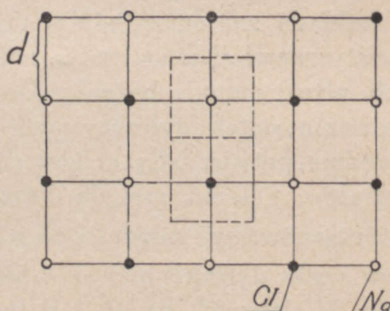
Użycie metody jonizacyjnej do badania promieniowania odbitego jest o tyle niedogodne, że wymaga dość mozolnych obserwacyj, gdyż przebieg zjawiska trzeba śledzić punkt po punkcie. Ma ono jednak tę wielką zaletę, że pozwala orjentować się łatwo we względnej intensywności wiązek odbitych od różnych ścian kryształu. Używając do badań interferencyjnych promieni o niezmiennem $\lambda$, można było na podstawie wzoru (1) na str. 458 porównywać odległości $d$ warstw atomów kryształu. Systematyczne pomiary, wykonane przez Braggów,

doprowadziły ich do rozwikłania struktury wielu kryształów[1]). Nieoczekiwane, a niezmiernie ważne dla spektroskopji wyniki, dało badanie soli kamiennej NaCl. Okazało się, że siatka krystaliczna




Rys. 137.
Rozmieszczenie atomów sodu i chloru w krysztale soli kamiennej.

składa się nie z molekuł, lecz z atomów, przyczem atomy chloru i sodu zmieniają się kolejno, jak to uzmysławia rysunek 137; kulki czarne oznaczają tu atomy sodu, kulki jasne są atomami chloru. Zbadanie budowy kryształów soli stało się punktem wyjścia dla pomiarów bezwzględnych długości fal promieni *X*. Niech *d* oznacza odległość pomiędzy sąsiednimi atomami. Zbudujmy dwa sześciany o krawędzi *d* (na rys. 138 konstrukcja została pokazana w przecięciu płaszczyzną, sześcianom odpowiadają kwadraty zrobione linjami przerywanemi) tak, by w nich był zawarty jeden atom chloru i jeden atom sodu. Oznaczmy przez $\varrho$ gęstość soli kamiennej. Objętość tych dwu sześcianów $= 2d^3$; masę substancji zawartej w nich znajdziemy, mnożąc




Rys. 138.

[1]) Nie mogąc, ze względu na brak miejsca, rozpatrzyć tego zagadnienia, odsyłamy czytelnika do monografij specjalnych, jak np.: Mauguin. La structure des cristaux, Paryż, 1924. Sir William Bragg. An introduction to crystal analysis. Londyn, 1928.

objętość przez gęstość $\varrho$, masa zatem $= 2d^3\varrho$. Z drugiej strony ta masa równa się sumie mas atomu chloru i atomu sodu. Wobec tego

$$2d^3 \cdot \varrho = \mu_{Cl} + \mu_{Na}$$

gdzie $\mu_{Cl}$ i $\mu_{Na}$ oznaczają masy pojedyńczych atomów chloru i sodu. Ciężar atomowy sodu $= 23.00$, ciężar atomowy chloru $= 35.46$. Tak zwana stała Avogadra $N$ daje liczbę atomów, zawartą w atomie gramowym dowolnego pierwiastka. Tym sposobem

$$\mu_{Na} = \frac{23.00}{N}; \quad \mu_{Cl} = \frac{35.46}{N} \quad \text{i} \quad 2d^3.\rho = \frac{23.00 + 35.46}{N} \quad . \quad (2)$$

Podstwiając na $\varrho$ liczbę 2.17 i biorąc $N = 6.06 \times 10,^{23}$ znajdziemy na podstawie wzoru (2) odległość $d$ pomiędzy atomami, tworzącemi siatkę. Obliczenie daje

$$d = 2.814 \times 10^{-8} \text{ cm.} = 2.814 \text{ jednostek Ångströma.}$$

Znając $d$, można zapomocą pomiarów spektrometrycznych (ob. wzór (1), na str. 458) obliczyć długość fali $\lambda$ promieni Röntgenowskich. Tak np. biorąc antykatodę $Q$ z molybdenu, znaleziono, że metal ten wysyła, między innemi, dwie silne linje o $\lambda = 0{,}708$ i $0{,}631$ Å.

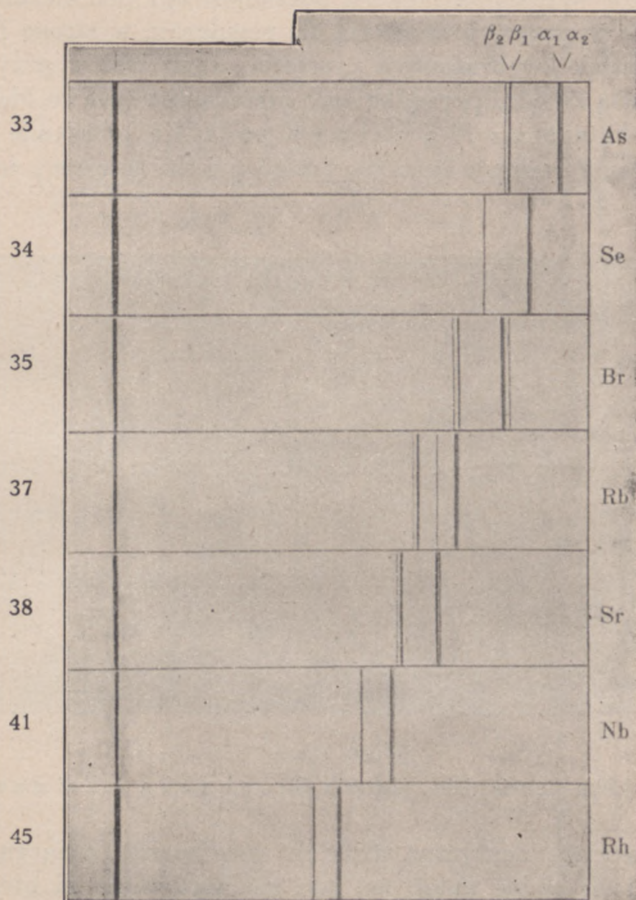
Podany wyżej sposób wyznaczenia $\lambda$ promieni Röntgenowskich może budzić zastrzeżenia; niepodobna nie przyznać, że jest on daleki od bezpośredniości, gdyż opiera się na teorji struktury kryształów NaCl i zakłada znajomość stałej Avogadra, wiążącej się hipotezami atomistycznemi. Na szczęście znaleziono w ostatnich latach (Thibaud, ob. niżej) metodę bezpośredniego pomiaru $\lambda$ promieni $X$ przy zastosowaniu siatek dyfrakcyjnych kreślonych na szkle. Pomiary bezpośrednie potwierdziły całkowicie wyniki otrzymane przy użyciu kryształów. Tak np. metoda kryształu dała dla jednej z linij emisji Röntgenowskiej miedzi $\lambda = 1.538$ Å, a pomiar dokonany przy użyciu siatki dyfrakcyjnej — 1.540 Å. Dobra zgodność wzmacnia zaufanie do dawnych badań i daje zarazem trwałą podstawę obecnym wyobrażeniom o rozmieszczeniu atomów w kryształach.

W roku 1913, w kilka miesięcy po ukazaniu się pracy B r a g g ó w, ogłosił swe badania nad widmami Röntgenowskiemi pierwiastków młody fizyk angielski H. G. J. M o s e l e y [1]). Postawił on sobie za za-

---

[1]) H e n r y G w y n - J e f f r e y s M o s e l e y (1887—1915) kształcił się w Eton i Oxfordzie. Pracował naukowo u R u t h e r f o r d a w Manchester, a następnie — w laboratorjum uniwersyteckiem w Oxfordzie. Zginął na wojnie od kuli zbłąkanej 10-go sierpnia r. 1915 w Gallipoli przy zakładaniu drutów tele-

danie zbadać w dziedzinie promieni *X* widma emisyjne pierwiastków, następujących po sobie kolejno w układzie perjodycznym. Badania




Rys. 139.
Linje serji *K* kilka pierwiastków. Po lewej stronie podane są numery porządkowe. (Zdjęcia Siegbahna i Frimana).

dały wyniki nieoczekiwanie proste i przejrzyste [1]). Można je zreasumować w formie dwu praw:

---

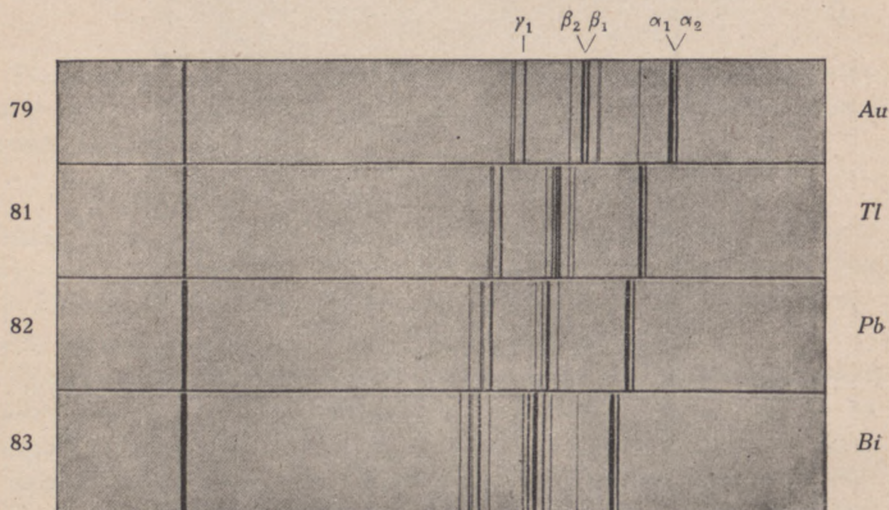
fonicznych. Sławę swą zawdzięcza Moseley wykryciu związku pomiędzy widmami Röntgenowskiemi, a perjodycznym układem pierwiastków. Śmierć tego niezwykle utalentowanego badacza stanowiła bolesną stratę dla nauki.

[1]) Pracę Moseleya znajdzie czytelnik w jednym z dalsz. rozdz. tej książki.

1) Wszystkie pierwiastki wykazują daleko sięgające podobieństwo w strukturze linjowych widm Röntgenowskich.

2) W miarę wzrastania numeru porządkowego pierwiastków analogiczne linje widmowe przesuwają się regularnie w stronę fal krótkich; pierwiastek kwadratowy z częstości drgań jest w przybliżeniu funkcją linjową numeru porządkowego pierwiastka (prawo Moseleya).

Fakty zdobyte przez M o s e l e y a posiadają olbrzymie znaczenie dla poznania budowy atomów. Widać z nich, że atomy wszelkich




Rys. 140.
Serja *L* kilku pierwiastków. (Zdjęcia S i e g b a h n a i F r i m a n a).

pierwiastków mają identyczną strukturę wewnętrzną, związaną z emisją promieni X; widać dalej, że, gdy się posuwamy od pierwiastka do pierwiastka w tablicy układu perjodycznego, ulega stałej zmianie jakaś wielkość, odgrywająca istotną rolę w procesach fizycznych. Jedność planu budowy wszelkiej materji staje się faktem, uwydatnionym bezpośrednio przez doświadczenie.

Istotę praw M o s e l e y a zrozumie czytelnik dokładniej, rozpatrzywszy zdjęcia widmowe na rysunkach 139 i 140. Na rysunku 139 mamy linje, należące do serji *K*, wytworzone przez pierwiastki *As*, *Se*, *Br*, *Rb* i t. d. Zajmują one w tablicy układu perjodycznego (na str. 465) kolejne miejsca 33, 34, 35, 37 i t. d.; mówimy, że odpowiadają im takież numery porządkowe; w myśl tego wodór posiada numer porządkowy 1, hel — 2, lit — 3. Rzuca się w oczy, że wszyst-

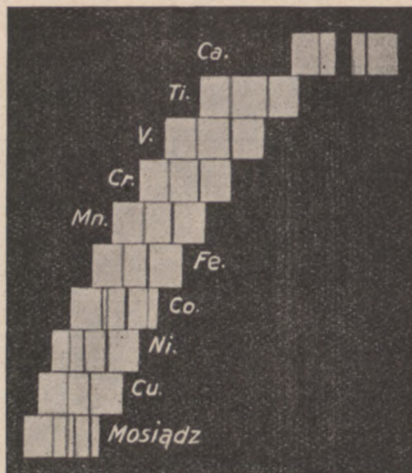
Z dziejów rozwoju fizyki. II. 30*

## UKŁAD PERJODYCZNY PIERWIASTKÓW

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIIIa | VIIIb | VIIIc | O |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 H 1.008 | | | | | | | | | | 2 He 4.00 |
| 2 | 3 Li 6.94 | 4 Be 9.02 | 5 B 10.82 | 6 C 12.00 | 7 N 14.01 | 8 O 16.00 | 9 F 19.0 | | | | 10 Ne 20.2 |
| 3 | 11 Na 23.00 | 12 Mg 24.32 | 13 Al 26.97 | 14 Si 28.06 | 15 P 31.02 | 16 S 32.06 | 17 Cl 35.46 | | | | 18 A 39.94 |
| 4 | 19 K 39.10 | 20 Ca 40.07 | 21 Sc 45.1 | 22 Ti 47.9 | 23 V 50.95 | 24 Cr 52.01 | 25 Mn 54.93 | 26 Fe 55.84 | 27Co 58.94 | 28 Ni 58.69 | |
| | 29 Cu 63.57 | 30 Zn 65.38 | 31 Ga 69.72 | 32 Ge 72.60 | 33 As 74.96 | 34 Se 79.2 | 35 Br 79.92 | | | | 36 Kr 82.92 |
| 5 | 37 Rb 85.44 | 38 Sr 87.63 | 39 Y 88.9 | 40 Zr 91.22 | 41 Nb 93.5 | 42 Mo 96,0 | 43 Ma | 44 Ru 101.7 | 45 Rh 102.9 | 46 Pd 106.7 | |
| | 47 Ag 107.88 | 48 Cd 112.40 | 49 In 114.8 | 50 Sn 118.7 | 51 Sb 121.77 | 52 Te 127.5 | 53 I 126,92 | | | | 54 Xe 130.2 |
| 6 | 55 Cs 132.81 | 56 Ba 137.37 | ZIEMIE RZADKIE | 72 Hf 178.6 | 73 Ta 181.5 | 74 W 184.0 | 75 Re 186.3 | 76 Os 190.9 | 77 Ir 193.1 | 78 Pt 195.2 | |
| | 79 Au 197.2 | 80 Hg 200.6 | 81 Tl 204.4 | 82 Pb 207.20 | 83 Bi 209.0 | 84 Po (210.0) | 85 — | | | | 86 Rn (222'0) |
| 7 | 87 — | 88 Ra 225.97 | 89 Ac (227) | 90 Th 232.12 | 91 Pa (231) | 92 U 238.14 | | | | | |

| ZIEMIE RZADKIE | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 57 La 138.9 | 58 Ce 140.13 | 59 Pr 140.9 | 60 Nd 144.3 | 61 Il | 62 Sm 150.4 | 83 Eu 152.0 | 64 Gd 157.3 |
| 65 Tb 159,2 | 66 Dy 162.5 | 67 Ho 163.5 | 68 Er 167.6 | 69 Tu 169.4 | 70 Yb 173.5 | 71 Lu 175.0 | |

kie te pierwiastki, tak niezmiernie różniące się swemi własnościami, dają widma niemal identyczne; nawet względne natężenie poszczególnych linij jest takie same. Fale krótkie mamy po ręce lewej. Dostrzegamy odrazu, że pierwiastki następujące po sobie w tablicy układu perjodycznego mają widma zsunięte regularnie w stronę fal krótkich. Pomiędzy bromem (35) a rubidem (37) brak pierwiastka Nr. 36, kryptonu. Uwydatnia się to bezpośrednio dwukrotnie więk-

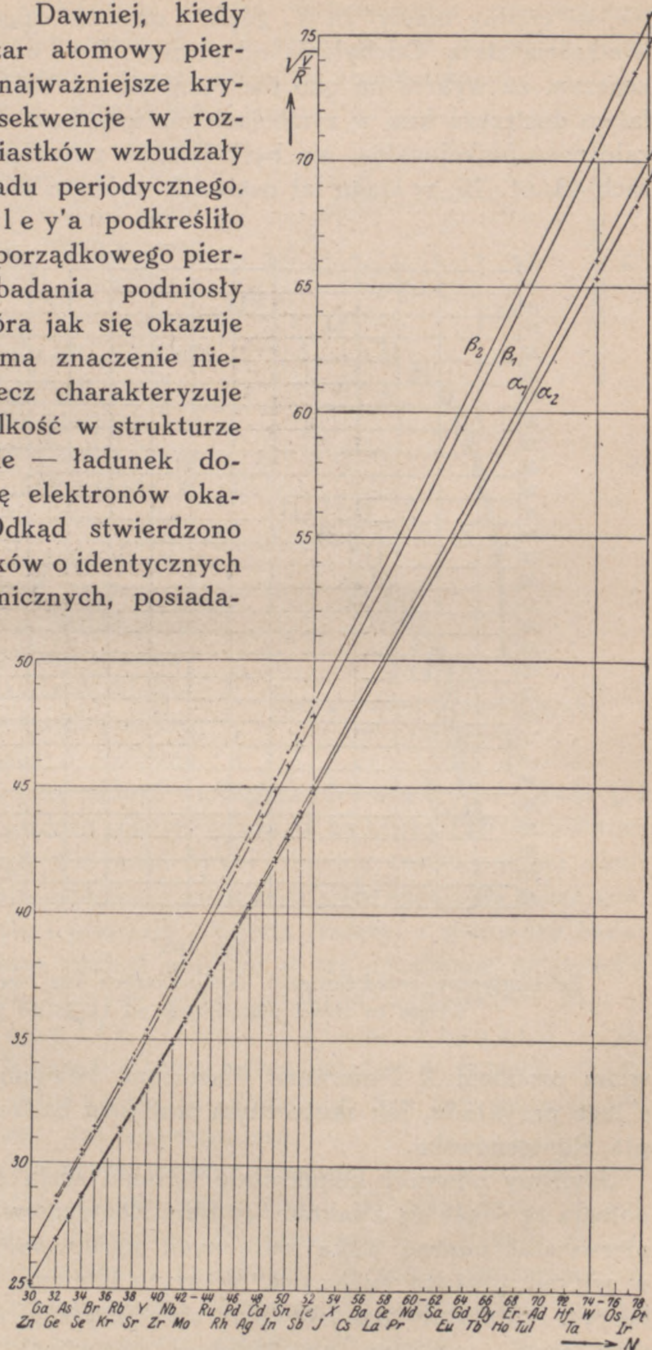



Rys. 141.
Tablica układu perjodycznego pierwiastków.

szem przesunięciem linij. Zdjęcie na rys. 140 wykazuje, że to samo prawo dotyczy i linij serji *L*. Pomiędzy złotem a talem mamy w układzie perjodycznym rtęć, której widmo zostało opuszczone na rys. 140 Zaznacza się to przesunięciem większem od tego, które obserwujemy przy przejściu od talu do ołowiu i od ołowiu do bizmutu, które zajmują kolejne miejsca w tablicy układu perjodycznego. Wreszcie na zdjęciach rys. 141, zaczerpniętego z oryginalnej pracy Moseley'a, dostrzec można, iż na podstawie kryterjum widmowego kobalt musi poprzedzać nikiel, podobnież, jak w układzie perjodycznym, ułożonym na podstawie własności chemicznych, mamy kobalt na 27-mem miejscu, a nikiel — na 28. Tymczasem na podstawie ciężarów atomowych kobalt (58.94) powinien następować po niklu (58.69). Tego rodzaju przestawienia pierwiastków napotykamy i w innych miejscach układu Mendelejewa: np. tellur (127.5) poprzedza jod (126.9), argon

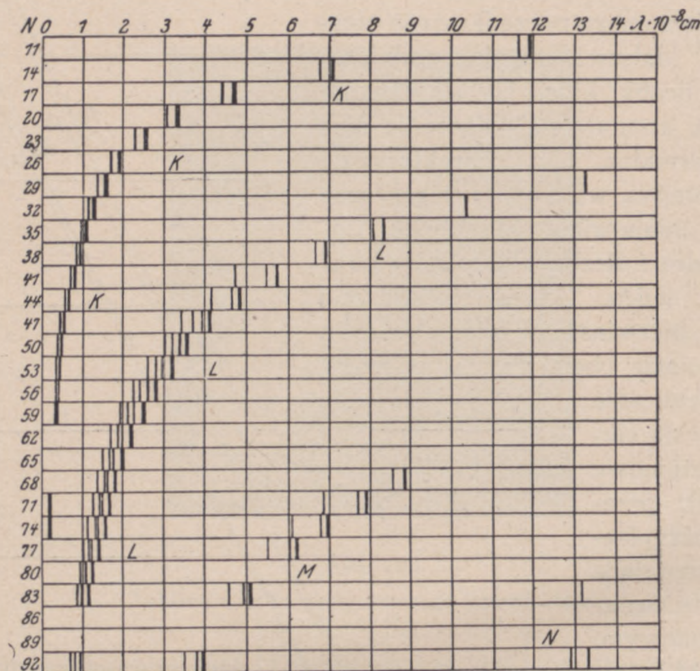
poprzedza potas. Dawniej, kiedy mniemano, że ciężar atomowy pierwiastka stanowi najważniejsze kryterjum, te niekonsekwencje w rozmieszczeniu pierwiastków wzbudzały nieufność do układu perjodycznego. Odkrycie M o s e l e y'a podkreśliło znaczenie numeru porządkowego pierwiastka, dalsze badania podniosły rolę tej liczby, która jak się okazuje (budowa atomu), ma znaczenie nietylko formalne, lecz charakteryzuje najistotniejszą wielkość w strukturze atomu, mianowicie — ładunek dodatni jądra i liczbę elektronów okalających jądro. Odkąd stwierdzono istnienie pierwiastków o identycznych własnościach chemicznych, posiadających znacznie różniące się ciężary atomowe (izotopy), przestano przypisywać decydujące znaczenie ciężarom atomowym.

Rys. 142 graficznie pokazuzuje zależność linij widm Röntgenowskich od n u m e r ó w p o r z ą d k o w y c h, które dane są na o s i odciętych.




Rys. 142.
Wykres prawa M o s e l e y'a w przypadku linij serji *K*.

Na osi rzędny mamy $\sqrt{\nu/R}$, gdzie $\nu$ oznaoza częstość drgań a $R$ jest wielkością stałą. Odchylenia od prawa M o s e l e y'a są tak nieznaczne, że wykres na oko nie różni się od linji prostej. Czytelnik łatwo dostrzeże luki w symbolach pierwiastków. Gdy wykreślano tę zależność funkcjonalną, nie były jeszcze znane pierwiastki o numerach 43, 61, 75; w ciągu lat ostatnich wykryto je na drodze badania



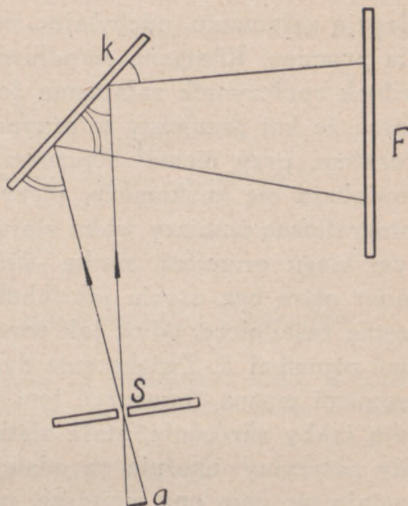

Rys. 143.
Schematyczne przedstawienie najsilniejszych linij seryj *K*, *L*, *M*, *N*; wzięto co trzeci pierwiastek od 11-go do 92-go.

widm promieni *X* i nazwano Masurium, Illinium, Rhenium. Widać z tego przykładu, jak skutecznym środkiem badania jest spektroskopja Röntgenowska.

Użyliśmy powyżej kilkakrotnie terminu serja *K*, serja *L*. Terminologja ta wiąże się z faktem, że linje Röntgenowskie wysyłane przez pierwiastki, tworzą kilka odrębnych ugrupowań, poprzedzielanych w widmie pustemi miejscami. Wykryto istnienie seryj *K*, *L*, *M*, *N*. Na rys. 143 zostały przedstawione schematycznie najgłówniejsze linje tych seryj, przyczem uwzględniono pierwiastki od Nr. 11 do 92,

przeskakując dwa za każdym razem. W przypadku pierwiastków lekkich znane są tylko serje *K* i *L*; serje *M* i *N* znane są tylko w odrębie pierwiastków o dużym ciężarze atomowym.

Poświęcimy jeszcze słów kilka stronie eksperymentalnej badań Moseley'a. Moseley skonstruował pierwszy przyrząd spektralny, pozwalający fotografować widma Röntgenowskie. Zmodyfikował w tym celu przyrząd Braggów w ten sposób, że komorę jonizacyjną zastąpił kliszą fotograficzną. Schematyczny rysunek 144 wyjaśnia sposób zastosowany przez Moseley'a. Na antykatodę *a*, która jest pokryta badanym pierwiastkiem, padają promienie katodowe; promienie *X*, wysyłane przez antykatodę, przechodzą przez wąską szparę *s* i padają rozbieżnie na kryształ *k*. Na dane miejsce kryształu padają promienie pod ściśle określonym kątem i odbijane są te tylko, które czynią zadość warunkowi Braggów. (Wzór (1) na str. 458). Tym sposobem różnym punktom na kliszy (*F*) odpowiadają różne długości fali. Przyrząd Moseleya został później ulepszony, a spektroskopja promieni X rozwinęła się w specjalną gałęź wiedzy, odznaczającą się i precyzją i bogatą treścią; z pomiędzy badaczy, którzy największe zasługi położyli w tej dziedzinie, należałoby wymienić, poza wspomnianymi wyżej uczonymi angielskimi: Maurycego de Broglie, Dauvillier, Thibaud — we Francji, Manne Siegbahna i jego uczniów w Szwecji, A. H. Compton'a, Webstera w Ameryce; ten spis nazwisk nie jest ani systematyczny, ani wyczerpujący.

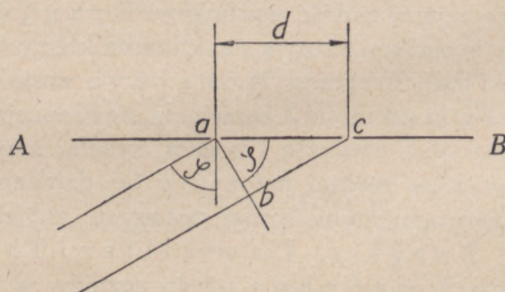


Rys. 144.
Bieg promieni w spektrografie Moseley'a.

Metodycznie za największy postęp, dokonany po pracach Moseleya, należy uważać wprowadzenie siatek dyfrakcyjnych do pomiarów widmowych w dziedzinie Röntgenowskiej. Okazało się, że używając siatek dyfrakcyjnych kreślonych na szkle, zawierających około 200 rys w milimetrze, można otrzymywać bardzo piękne zdjęcia widm promieni *X*, pod warunkiem wszakże, by promienie padały na

siatkę niemal stycznie, tworząc z powierzchnią jej kąt rzędu kilku minut. Przedewszystkiem, aby mieć widma dostatecznie intensywne, należy otrzymać całkowite odbicie wewnętrzne promieni $X$ od powierzchni szklanej. Promienie $X$, przechodząc z powietrza do szkła, ulegają załamaniu, odchylając się od prostopadłej; szkło, zatem, jest dla promieni Röntgena ośrodkiem optycznie rzadszym od powietrza; jednak spółczynnik załamania (ob. niżej) tak mało różni się od jedności, że kąt graniczny w przypadku szkła nie przekracza 10 minut. Pozatem, przy niemal stycznem padaniu promieni, dyspersja siatki powiększa się znakomicie, otrzymuje się kąty ugięcia tak duże, iż fotograficzne pomiary widm stają się dogodne. Co więcej, przy stycznym biegu promieni siatka dyfrakcyjna płaska wytwarza obrazy nader ostre bez użycia jakichkolwiek szkieł optycznych, co ma znaczenie zasadnicze, gdyż, jak wiadomo, żadne soczewki nie mogą skupiać promieni $X$. Zwiększenie dyspersji siatki przy stycznem padaniu promieni można tłumaczyć tem, że odstępy, odbijające światło, ulegają jakby skróceniu, stała siatki pozornie się zmniejsza. Podobnie, gdy patrzymy ukośnie na odstępy pomiędzy sztachetami parkanu, wydają się nam one mniejsze, niż — kiedy spoglądamy na nie prostopadle [1]).

Porównanie powyższe nie odznacza się ścisłością. Rozpatrzmy sprawę dokładniej. Przypuśćmy, że $AB$ na rysunkach 145 i 146 oznacza siatkę płaską,

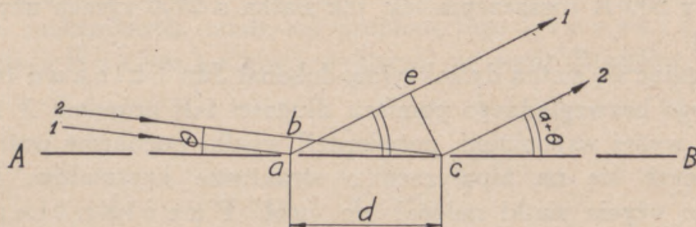



Rys. 145.
Uginanie się promieni, padających normalnie na siatkę dyfrakcyjną.

kreśloną na szkle; niech stała siatki równa się $d$. Biorąc dwa sąsiednie promienie, oznaczone na rysunku cyframi 1 i 2, znajdujemy łatwo, że różnica dróg, gdy promienie padają na siatkę prostopadle, wynosi $cb = d \sin \varphi$, zaś

[1]) Czytelnik, który się nie interesuje teorją siatki dyfrakcyjnej, może ustęp, wydrukowany petitem, opuścić bez szkody dla zrozumienia dalszych rozdziałów.

w przypadku promieni niemal stycznych do siatki równa się ona $bc - ae = d$. $[\cos \Theta - \cos (\Theta + \alpha)]$. Należy zwrócić uwagę na to, że w przypadku rys. 145 został wzięty kąt, który tworzą promienie z prostopadłą, na rys. 146 $\Theta$ i $\Theta + \alpha$ są to kąty z powierzchnią samej siatki; zakłada się, że promienie ugięte two-




Rys. 146.
Uginanie się promieni, które stycznie padają na siatkę dyfrakcyjną.

rzą kąt $\alpha$ z promieniami, odbitemi regularnie od powierzchni siatki. W przypadku wzajemnego wzmacniania promieni mamy, oznaczając przez $n$ liczbę całkowitą:

$$n\lambda = d \sin \varphi \quad \text{i} \quad n\lambda = d\,[\cos \Theta - \cos(\Theta + \alpha)].$$

Przekształćmy wzór, dotyczący stycznego padania promieni. Rozwijając wyrażenie wewnątrz nawiasu łatwo znajdziemy

$$n\lambda = d\,[\cos \Theta\,(1 - \cos \alpha) + \sin \alpha \sin \Theta].$$

Kąt $\Theta$ jest mały, kąt $\alpha$ również jest niewielki; możemy wobec tego napisać, zastępując $1 - \cos \alpha$ przez $2 \sin^2 \alpha/2$ i biorąc łuki zamiast wstaw kątów,

$$n\lambda = d\left(\frac{\alpha^2}{2} + \alpha\Theta\right) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Gdy $\Theta$ jest znikomo małe, jak w warunkach doświadczeń z promieniami Röntgena, możemy drugi wyraz pominąć i mamy

$$n\lambda = \tfrac{1}{2}\, d \,.\, \alpha^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Zakładając mały kąt uginania w przypadku promieni, padających prostopadle na powierzchnię siatki, otrzymujemy

$$n\lambda = d \,.\, \varphi \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Porównywując wzory 2 i 3, dostrzegamy, że widmo, otrzymane przy użyciu promieni stycznych, nie jest normalne, gdyż kąt uginania nie jest proporcjonalny do długości fali.

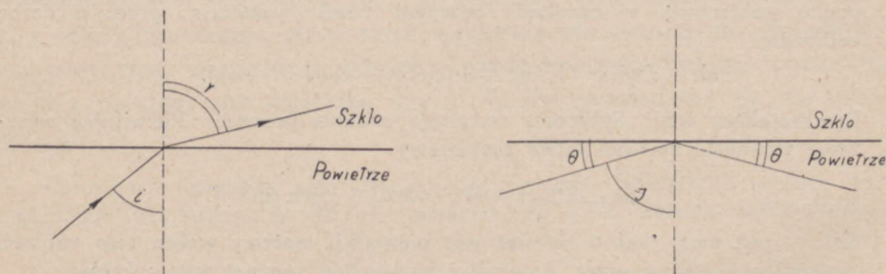
Czytelnik, któremu znane są elementy rachunku różniczkowego, łatwo porówna dyspersję siatki szklanej w dwu rozpatrywanych przypadkach. Załóżmy, że chodzi o widmo 1-go rzędu, gdy $n = 1$. W takim razie

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{1}{d}\,; \quad \frac{d\alpha}{d\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2d\lambda}}$$

Pochodne kątów względem $\lambda$ są miarą dyspersji. Otrzymane wzory pokazują, że przy *małem* $\lambda$ dyspersja siatki stycznie użytej może wydatnie przewyższać dyspersję siatki użytej normalnie.

Z obliczeń wynika np., że siatka o 570 rysach w mm., użyta stycznie, w okolicy 500 $\AA$ rozszczepia tak, jak siatka o 2400 rysach użyta normalnie [1]).

Posługując się siatką dyfrakcyjną, dokonał Jan Thibaud (r. 1925) pierwszego bezwzględnego pomiaru długości fali promieni $X$ i, jakeśmy już wyżej wspomnieli, potwierdził wyniki pomiarów pośrednich, opierających się na hipotezach o strukturze kryształów. Pomysł stycznego użycia siatki należał do prof. Pucciantiego we Włoszech. Zrealizowali go Compton i Doan w Ameryce wcześniej, niż Thibaud, musieli jednak uprzednio rozkładać promienie zapomocą odbicia krystalicznego; czyniło to ich metodę niepraktyczną.




Rys. 147
Załamanie i całkowite odbicie promieni $X$.

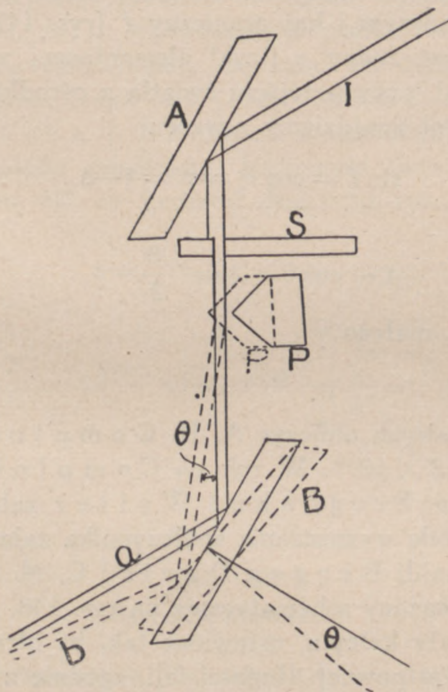
Dodajmy do poprzednio powiedzianego, że z punktu widzenia zagadnienia budowy atomu największe zainteresowanie budzą charakterystyczne widma linjowe pierwiastków. W praktyce należy się liczyć z tem, że linje występują zawsze na tle ciągłego widma urywającego się po stronie fal krótkich (p. str. 351, rys. 83). Niejednokrotnie, np. w rurach stosowanych w medycynie, przeważna część energji promieniowania tkwi właśnie w widmie ciągłem.

W dziedzinie promieni X nie spotykamy linij analogicznych do linij odwróconych, znanych w dziedzinie widzialnej. Pochłanianie promieni Röntgena omówimy w związku z zagadnieniem budowy atomu.

---

[1]) Zwiększenie dyspersji siatki szklanej, gdy się promienie rzuca stycznie, czytelnik łatwo zaobserwuje nawet przy użyciu promieni widzialnych. Fakt ten można demonstrować bez trudu dużemu audytorjum.

**C. Załamanie promieni Röntgena.** Wyprowadzając wzór B r a g g ó w (str. 458) zakładaliśmy, że promienie Röntgena nie ulegają załamaniu. Pomiary wykazały ścisłość wzoru tego, potwierdziły zatem założenie, że spółczynnik załamania promieni $X = 1$. Dopiero po osiągnięciu przez M. S i e g b a h n a wielkiej precyzji w pomiarach spektralnych, udało się uczniom jego S t e n s t r ö m o w i (r. 1919) i H j a l m a r o w i wykazać, że wzór Braggów nie jest




Rys. 148.
Schemat przyrządu do mierzenia sp. załam. promieni *X*.

zupełnie ścisły, i że precyzyjne pomiary wykazują systematyczne odchylenia przy przejściu do widm wyższego rzędu. Teoretyczne rozważania pokazywały, że spółczynnik załamania promieni *X* mało się różni od jedności; wynikało z obliczeń, że crown-glass ma spółczynnik $1 - 5.2 \times 10^{-6}$. Spółczynnik mało różny od jedności dobrze tłumaczył niepowodzenie wszelkich eksperymentów, wykonanych w pierwszym jeszcze okresie badań nad temi promieniami, zmierzających do wykrycia ich odchylenia przez pryzmat. A r t u r H. C o m p t o n w r. 1923 pierwszy wykazał doświadczalnie istnienie cał-

kowitego odbicia wewnętrznego promieni Röntgenowskich w obrębie kąta takiego samego rzędu wielkości, jak i kąt przewidywany teoretycznie. Compton otrzymał na wartość kąta granicznego w przypadku szkła lekkiego około 10′, w przypadku srebra — 22.5′. Podkreślamy, że bierzemy tu kąty promieni z powierzchnią, a nie z prostopadłą. Łatwo znajdziemy związek pomiędzy spółczynnikiem załamania a kątem granicznym. Załóżmy, że sp. zał. przy przejściu promieni z powietrza do szkła wynosi $1 - \delta = \mu$; szkło jest zatem ośrodkiem optycznie rzadszym i kąt graniczny $I$ [rys. 147; należy konsekwentnie zastosować znany z fizyki elementarnej wzór $\sin I = 1/n$, gdzie $n$ jest sp. zał. przy przejściu światła z ośrodka optycznie *rzadszego* do gęstszego] znajdziemy z wzoru

$$\sin I = \cos\Theta = \mu = 1 - \delta \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

Stąd

$$1 - \cos\Theta = 2\sin^2\frac{\Theta}{2} = \delta .$$

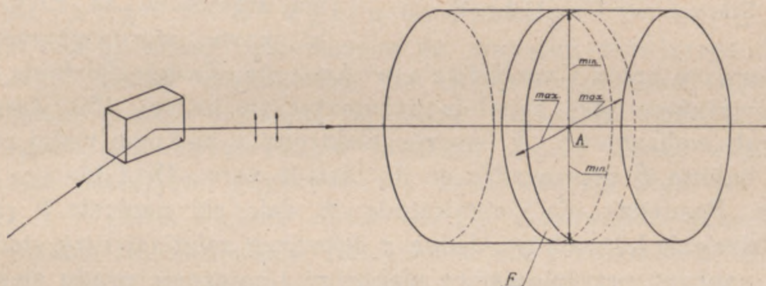
W przypadku b. małego $\Theta$

$$\Theta = \sqrt{2\delta} .$$

Z doświadczeń swych obliczył A. H. Compton, że $\delta$ w przypadku szkła $= 4.2 \times 10^{-6}$. W rok po Comptonie (1924) wykazali Larsson, Siegbahn i Waller załamanie prom. $X$ w pryzmacie. Metodę wyznaczania spółczynnika załamania zapomocą pryzmatu udoskonalili Bergen Davis i C. M. Slack (1926). Ich aparat jest pokazany schematycznie na rys. 148. $A$ i $B$ są to dwa równoległe kryształy kalcytu, ustawione tak, by otrzymać maximum odbicia dla promieni pewnej długości fali, zgodnie z wzorem Braggów. Promienie odbite $a$ padają na szparę komory jonizacyjnej. Po wyregulowaniu przyrządu umieszcza się pryzmat $P$ w biegu promieni; promienie ulegają odchyleniu ku wierzchołkowi pryzmatu, zgodnie z tem, że spółcz. załamania jest mniejszy od jedności. Kąt padania promieni na kryształ $B$ ulega zmianie; zmniejsza się on o $\Theta$; aby znów otrzymać maximum odbicia należy obrócić kryształ $B$ również o kąt $\Theta$, co się uskutecznia zapomocą odpowiedniej rączki. Znając kąt odchylenia promieni, można obliczyć spółczynnik załamania. Przyrząd wymienionych autorów amerykańskich, pozwalał na dokonywanie nader precyzyjnych pomiarów; mogli oni jeszcze obserwować odchylenie promieni, nie przewyższające $^1/_{10}$ sekundy łuku. Oto kilka liczb, przez C. M. Slacka otrzymanych.

| λ | W a r t o ś ć δ | | |
|---|---|---|---|
| | Glin | Celluloid | Parafina |
| 0.7078 A | $1.68 \times 10^{-6}$ | $0.980 \times 10^{-6}$ | $0.701 \times 10^{-6}$ |
| 1.537 A | $8.40 \times 10^{-6}$ | $4.78 \times 10^{-6}$ | $3.28 \times 10^{-6}$ |

**D. Polaryzacja promieni Röntgena.** Doświadczenie zasadnicze, stwierdzające polaryzację promieni Röntgena, wykonał jeszcze w roku 1905 C. G. B a r k l a. Modyfikowano później wielokrotnie układ tego eksperymentu. Zatrzymamy się tutaj na urządzeniu doświadczalnem użytem przed kilku laty (1926, Zeitschrift für Physik, t. 35, s. 743) przez M a r k a i S z i l a r d a. Źródłem promieni Röntgena była antykatoda miedziana. Promienie, wysyłane przez nią, padają pod kątem 45° na kryształ NaCl (p. rys. 149) i są przez

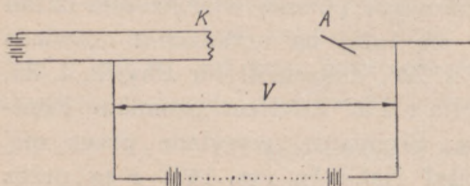



Rys. 149.
Polaryzacja promieni *X*.

atomy uginane i rozpraszane. Promienie, dające maximum w/g wzoru B r a g g ó w i tworzące z wiązką padającą kąt 90°, skierowywano następnie na substancję mikrokrystaliczną *A*, składającą się ze zbioru mnóstwa drobniutkich kryształków, mających zupełnie przypadkową orjentację. Między kryształkami, dzięki temu, że są niezmiernie liczne, zawsze znajdują się w dostatecznej liczbie takie, które są ustawione tak, iż dają wzmocnione odbicie prostopadle do kierunku promieni padających (ob. wzór na str. 458). Gdyby zatem wiązka promieni padających na *A* była zupełnie symetryczna, inaczej mówiąc, gdyby te promienie nie były spolaryzowane, powinnibyśmy otrzymać na cylindrycznym filmie fotograficznym, okalającym *A*, pierścień jednolicie zaciemniony, wytworzony przez promienie odbite od kryształików. Tymczasem otrzymuje się pasmo, okazujące dwa

maxima i dwa minima — praktycznie biorąc, o zerowem natężeniu. Wnosimy stąd, że promienie rozpraszane przez powierzchnię kryształu pod kątem $90^0$ są spolaryzowane i, podobnie jak w doświadczeniu optycznem ze zwierciadłami, nie ulegają odbiciu gdy wektor świetlny (drganie świetlne) leży w płaszczyźnie padania.

**E. Otrzymywanie promieni Röntgena.** Choć nie zajmujemy się w tej książce kwestjami technicznemi, uważamy za konieczne nadmienić, że prócz rur dawnego typu, t. zw. – jonowych w których ważną rolę odgrywały jony dodatnie, wytworzone w resztce gazu, pozostawionego w rurze, obecnie nader często, z największą korzyścią, stosowane są rury elektronowe, wprowadzone po raz pierwszy przez Coolidge'a w Ameryce. Zasada działania tych rur wyjaśniona jest zupełnie schematycznie na rys. 150. Żarzący się drut wolframowy $K$ wysyła elektrony o znikomo małej prędkości; baterja $B$ doprowadza go do białego żaru. Drut ten gra rolę katody. Pomiędzy nią i antykatodą $A$ daje się napięcie $V$ rzędu kilkudziesięciu kilowoltów. Jedną z głównych zalet tej rury stanowi to, że napięcie, przyśpieszające elektrony, i natężenie prądu elektronowego, uwarunkowane przez temperaturę drutu wolframowego, są od siebie niezależne.



Rys. 150.
Schemat rury Coolidge'a.

---

Mówiliśmy powyżej wyłącznie o promieniach Röntgena. Promienie gamma ciał promieniotwórczych nie różnią się zasadniczo od promieni $X$, odznaczają się tylko, naogół, mniejszą długością fali. Stosując odbicie od kryształów można było wyznaczyć $\lambda$ promieni $\gamma$ na podstawie wzoru Braggów

$$n\lambda = 2\,d\sin\alpha\,.$$

Trudność polega na tem, że w miarę zmniejszania się długości fali kąt $\alpha$ maleje tak, iż pomiar dokładny przestaje być możliwym. Dlatego też $\lambda$ najbardziej przenikliwych promieni $\gamma$ wyznaczano metodą pośrednią, która polega na zastosowaniu zjawiska fotoelektrycznego. Rzucając wiązkę monochromatycznych promieni Röntgenowskich

czy też gamma na określony metal, wyzwalamy elektrony. Energja kwantów padających $h\nu$ przechodzi w energję kinetyczną elektronów, częściowo zaś jest zużytkowywana na pracę $W$ niezbędną do wydobycia elektronu z wnętrza atomu. Możemy zatem napisać równanie.

$$h\nu = W + \tfrac{1}{2}\, mv^2$$

gdzie $^1/_2\ mv^2$ jest energją kinetyczną elektronu. Jest bardzo godnem uwagi, że w przypadku elektronów prędkich, jak pokazało doświadczenie, należy zwykły wzór energji kinetycznej zastąpić wzorem ogólniejszym, do którego prowadzi teorja względności. Z badań nad strukturą atomów znana jest praca $W$; energję kinetyczną elektronów pozwala znaleźć pomiar odchylenia ich w polu magnetycznem jednorodnem. Znając prawą część równania, możemy obliczyć $h\nu$, a zatem i $\lambda$ promieni, wyzwalających elektrony. Opracowanie metody fotoelektrycznej pomiaru długości fali w dużym stopniu było zasługą Maurycego de Broglie we Francji.

Rzut oka na tablicę, umieszczoną na początku niniejszego działu (str. 441), pokaże czytelnikowi, że dziedziny promieni Röntgena i promieni gamma zachodzą na siebie. Dążeniem techniki Röntgenowskiej jest otrzymywanie promieni $X$ przy coraz większych różnicach potencjału, gdyż wówczas wydajność rur staje się coraz lepszą, t. j. coraz większe ilości energji elektrycznej przechodzą w promienie Röntgenowskie. Doniedawna nie przekraczano na końcówkach rury Röntgenowskiej 200000 — 300000 wolt. Duży postęp zwiastują ogłoszone w roku 1930 (Naturwissenschaften, str. 16 i str. 765) komunikaty niemieckich uczonych A. Brascha i F. Langego, którzy zdołali otrzymać na końcówkach rury Röntgenowskiej z początku miljon, a potem — nawet 2.4 miljona wolt. Tak wysokie napięcie wytwarzano w postaci krótko trwających impulsów; stosowano na sekundę dwa uderzenia, trwające $10^{-6}$ do $10^{-4}$ sek. Rura na dwa miljony wolt miała 85 cm. długości, 9 cm. średnicy, składała się z dużej liczby części przewężonych, aby uniknąć przechodzenia wyładowań po ściankach. Była zrobiona z kauczuku i sztucznego izolatora (turbonitu). Przy zastosowaniu antykatody miedzianej badacze ci obserwowali powstawanie promieni, które przechodziły przez pancerz ołowiany grubości 10 *centymetrów;* nadmienimy, że od promieni, zwykle używanych do celów lekarskich, chroni osłona ołowiana grubości kilku milimetrów. Zgodnie z wzorem na str. 442 przy napięciu 2.4 miljonów wolta kres widma ciągłego Röntgenowskiego sięgał 0.005 $A$; otrzymywano zatem sztucznie pro-

mienie $\gamma$, odpowiadające najbardziej przenikliwemu promieniowaniu ciał radjoaktywnych.

Doświadczenia tego rodzaju budzą jak najżywsze zainteresowanie. Należy się bowiem spodziewać, że przy napięciach rzędu kilku miljonów wolt można będzie nadawać promieniom katodowym i kanałowym tak duże prędkości, że dadzą się one użyć skutecznie do rozbijania na wielką skalę atomów i wytwarzania sztucznej przemiany pierwiastków. Tym sposobem panowanie człowieka nad materją stanie się zupełniejsze; może nastąpić era nowej zupełnie chemji.

Ciekawem jest, że wymienieni wyżej badacze [1]) podjęli też śmiałą próbę wyzyskania olbrzymich różnic potencjału, jakie powstają w naturze podczas burz i ujawniają się w błyskawicach. Zbudowali w tym celu wielką specjalną instalację w Szwajcarji na Monte Generoso; tam zdołali już otrzymać napięcia rzędu 8 miljonów wolt. Przygotowują rurę próżniową, która da możność obserwowania zjawisk przy różnicy potencjałów, równej 5 miljonom wolt.

## IV. Promienie pośrednie pomiędzy ultrafioletem a Röntgenowskiemi

Badanie długofalowych promieni Röntgena napotyka na duże przeszkody. Z nich główna polega na tem, że promienie miękkie niesłychanie łatwo są pochłaniane przez wszelkie ciała materjalne. Absorbcja promieni $X$ jest proporcjonalna do *trzeciej potęgi* $\lambda$; promienie o długości fali rzędu kilku jednostek Angströma nie mogą przebiec nawet 10 cm. powietrza pod ciśnieniem atmosferycznem i pochłaniane są przez najcieńsze ścianki szklane rur Röntgenowskich. Do badania tej dziedziny muszą być stosowane spektrografy próżniowe, bezpośrednio połączone z rurą, wytwarzającą promieniowanie. Co najwyżej można oddzielić jedną komorę od drugiej cieniutkim listkiem celluloidowym. Holweck używa do tego celu listka o grubości rzędu $10^{-5}$ cm. Sporządzenie tak cienkiej błonki i manipulowanie nią wymaga specjalnej zręczności.

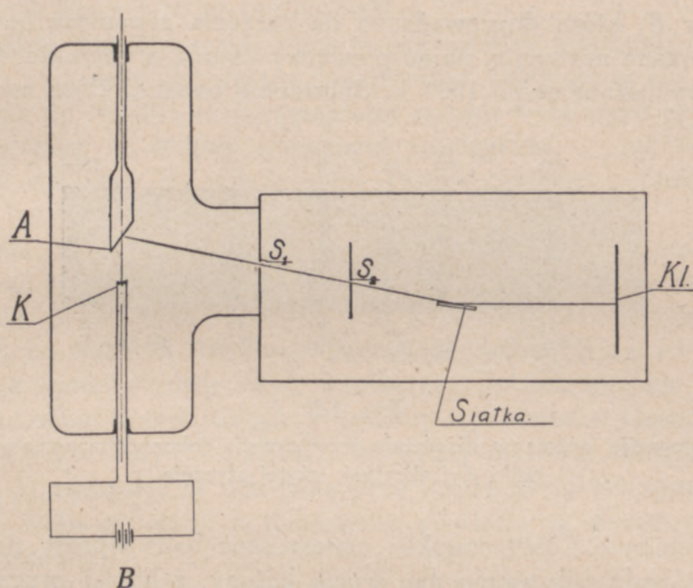
Posługując się spektrografem próżniowym, zdołał Moseley badać promienie $K\alpha$ glinu o $\lambda = 8{,}3\,\mathring{A}$. Friman i Hjalmar dotarli

[1]) Amerykanie Breit, Tuve i Dahl prawie równocześnie otrzymali napięcia, dochodzące do 5000000 $V$, posługując się transformatorem Tesli. Na użycie transformatora Tesli do otrzymywania b. wysokich napięć zwrócił uwagę prof. M. Wolfke w pracy, dotyczącej mierzenia różnic potencjału tego transformatora, zapomocą rury katodowej. (Phys. Zt., 1923, s. 249). Wymienieni badacze amerykańscy nie przekroczyli 1400000 $V$ na końcówkach rury.

potem, umieszczając w spektrografie kryształ gipsu, do 12,2 i 13,4 *A*. Dalsze postępy wydawały się niemożliwe, a to dla następującego powodu. Wiadomo, że wzór Bragg'ów daje na kąt odbicia (str. 458) wartość

$$\sin\alpha = \frac{n\lambda}{2d}.$$

Ponieważ $\sin\alpha$ jest zawsze mniejszy od jedności, przeto $2d$ musi być większe od $n\lambda$. Jeżeli się poprzestaje na widmie 1-go rzędu, $\lambda$ musi

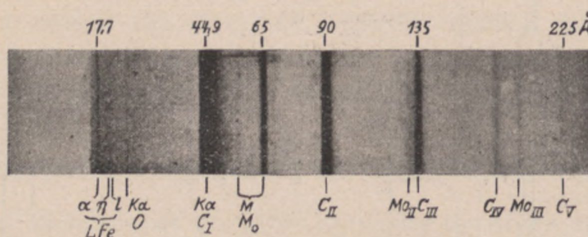



Rys. 151.
Schemat przyrządu Thibaud i Sołtana do badania promieni pośrednich pomiędzy prom. *X* a ultrafioletem.

być mniejsze od $2d$. Z pomiędzy znanych ciał krystalicznych największą wartość $d$, równą 7,62 Å, posiada gips. Wobec tego było jasnem, że spektrografy do promieni Röntgenowskich nie pozwolą analizować promieni o $\lambda$ przekraczającem kilkanaście jedn. Angströma. Dalsze postępy w tej dziedzinie uzyskano dzięki wykryciu (Friedel i M. de Broglie), że wyższe homologi kwasów tłuszczowych dają uwarstwienia, których $d$ przewyższa wielokrotnie odstępy, spotykane w kryształach. W roku 1925 Sieghahn i Thoraeus w Szwecji, stosując odbicie promieni *X* od warstwy kwasu palmitowego ($2d = 71.19$ Å), mogli zmierzyć prążek $L\alpha$ chromu

o $\lambda = 21.6$ Å. W roku 1927 ogłosił D a u v i l l i e r pracę, w której komunikował, że udało mu się dotrzeć aż do $\lambda = 121$ Å (promieniowanie toru). D a u v i l l i e r posługiwał się solą ołowiową kwasu melittowego o *d* wyjątkowo wielkiem, bo równem 87.5 Å.

Również w roku 1927 J. T h i b a u d i A. S o ł t a n[1]) zastosowali siatkę dyfrakcyjną szklaną przy niemal stycznem padaniu promieni (p. str. 471) do badania dziedziny przejściowej. Schemat użytego przyrządu pokazuje rys. 151. Rura Röntgenowska, użyta w doświadczeniu, była typu Coolidge'a (p. str. 476). Elektrony, wychodzące z katody *K*, którą doprowadzano do żarzenia zapomocą baterji *B*, przyśpieszano następnie, dając pomiędzy katodą a antykatodą *A* napięcie, wynoszące około 1000 *V*. Substancję badaną, która miała wy-




Rys. 152.

Fotografja widma w dziedzinie przejściowej, dokonana zapomocą siatki dyfrakcyjnej, użytej stycznie.

syłać promienie Röntgenowskie, umieszczano bądź wprost na antykatodzie, bądź pokrywano nią drucik katody, z której przez destylację przechodziła następnie na anodę. Promienie *X*, wysyłane przez tę ostatnią, przechodziły przez szpary $s_1$ i $s_2$, padały następnie na siatkę dyfrakcyjną szklaną, wreszcie po ugięciu wytwarzały widmo na kliszy fotograficznej. W przyrządzie starano się utrzymać możliwie doskonałą próżnię; ważnem było, iż udało się dokonywać zdjęć, nie oddzielając rury Röntgenowskiej od właściwego spektrografu żadnemi przegrodami; albowiem nawet najcieńsza zasłona powoduje ogromną stratę w intensywności promieniowania, przechodzącego do komory spektrografu.

Jedno ze zdjęć, otrzymanych zapomocą opisanego przyrządu, widzimy na rys. 152. Podane na fotografji długości fal pokazują, że

---

[1]) J e a n T h i b a u d et A n d r é S o l t a n. Recherches spectrographiques dans le domaine intermédiaire. Journal de Phys., 1927, s. 484.

użyta metoda pozwala badać całą dziedzinę przejścia od miękkich promieni Röntgena do ultrafioletu Millikana, gdyż linja żelaza o $\lambda = 17.7\ A$ niewątpliwie należy do promieni $X$, a $225\ A$ znajduje się już poza kresem ($137\ A$), do którego doszedł Millikan w dalekim ultrafiolecie. Zauważymy, że linje oznaczone $225\ A$, widoczne na zdjęciu, należą do widma 5-go rzędu; największa długość fali w emisji pierwiastków, mierzona przez Thibaud i Sołtana, wynosiła $68\ A$. Stosując zamiast rury Röntgenowskiej, urządzenie, dające krótką intensywną iskrę, otrzymał Thibaud na jednej i tej samej kliszy fale od 144 do $6000\ A$.

Te piękne doświadczenia, wymagające wielkiej zręczności i pomysłowości, stanowiły decydujący triumf nauki. Uwydatniły one w całej pełni fakt, że obecnie eksperymentator potrafi wytworzyć promieniowanie atomów w widmie olbrzymiej rozciągłości, — od twardych promieni Röntgena do podczerwieni. Przerw ciągłości w tem widmie, dużych luk niezapełnionych i nieznanych dziś już niema.

Badania Thibaud i Sołtana miały tę wyższość nad analogicznemi poszukiwaniami Dauvillier, że pozwoliły dokładnie wyznaczyć bezwzględne wartości $\lambda$ w dziedzinie przejściowej. Okazało się, że wartości liczbowe znalezione przez Dauvillier, zawierają systematyczny błąd, wynikający prawdopodobnie z załamania promieni przejściowych w warstewkach kwasów tłuszczowych. Thibaud i Sołtan zdobyli też cenny materjał faktyczny, dotyczący przedłużenia w dziedzinę przejściową seryj Röntgenowskich $K$, $L$, $M$, $N$ (p. str. 466); te dane rzucają światło na strukturę i energetykę atomów.

Dalszy rozwój badań w dziedzinie przejściowej napotyka jednak jeszcze na ogromne trudności; są one związane z jednej strony z wytwarzaniem promieniowania o tyle silnego, by mogło być badane fotograficznie, z drugiej — z identyfikowaniem otrzymanych linij.

Dziedzinę przejściową, o której tu mowa, badano również metodami pośredniemi, nie rozkładając spektralnie wytwarzanego promieniowania. Do najbardziej interesujących badań tego rodzaju należą prace F. Holwecka. Wytwarza on widmo Röntgenowskie ciągłe, bombardując elektronami antykatodę, pokrytą warstwą wolframu. Filtrując otrzymane promienie $X$ zapomocą odpowiednich cieniutkich ekranów, otrzymuje fale niemal monochromatyczne; ich długość ma odpowiadać kresowi widma ciągłego, gdyż w okolicy kresu widmo ciągłe posiada wyraźne maximum. Długość fali otrzymuje Holweck, stosując do kresu widma znany wzór Einsteina

(p. str. 337). Stosowanie wzoru na kres widma do dziedziny zupełnie pod tym względem nieznanej stanowi bądź - co - bądź ekstrapolację; dlatego też nie będziemy się tu bliżej zajmować wynikami tych poszukiwań, odsyłając czytelnika do wyczerpującej monografji Holwecka, cytowanej już na str. 441.

## V. Promienie kosmiczne.

Na początku bieżącego stulecia badano wielokrotnie straty ładunku, jakich doznaje doskonale odizolowany elektroskop, umieszczony wewnątrz osłony metalowej. Przekonano się, że, poza stratą wynikającą z niedoskonałości izolacji, występują jeszcze dwa czynniki, wywołujące jonizację w powietrzu naczynia zamkniętego i powodujące opadanie listków elektroskopu, mianowicie:

1) oddziaływanie ścianek zbiornika, wewnątrz którego znajduje się elektroskop; niepodobna bowiem uwolnić metal jakikolwiek od minimalnych domieszek ciał promieniotwórczych;

2) działanie jakiegoś promieniowania zewnętrznego, przenikającego przez osłony metalowe.

W roku 1903 Mac Lennan i Burton z jednej strony, Rutherford i Cooke z drugiej stwierdzili, że nakładając dodatkowe ekrany metalowe na osłonę, wewnątrz której znajduje się elektroskop, można zredukować jego straty o jakieś 30%. Tym sposobem została ustalona egzystencja zewnętrznego promieniowania przenikliwego, o którem wspominaliśmy wyżej w punkcie drugim.

Z początku natura tego promieniowania przenikliwego nie budziła żadnych wątpliwości. Wiedziano, że tak skorupa ziemska, jak i atmosfera zawierają ciała promieniotwórcze, które wysyłają promienie gamma, obdarzone silną przenikliwością i zdolnością jonizacyjną. Naturalnym był wniosek, iż zatrzymanie promieni gamma zapomocą ekranów metalowych zmniejsza stopień jonizacji w przestrzeni zamkniętej.

W tem przypuszczeniu należało oczekiwać, że przy wykonywaniu takich doświadczeń na znacznej wysokości, zdala od powierzchni ziemi i od najniższych warstw atmosfery, które zawierają stosunkowo obficie emanacje promieniotwórcze i produkty ich rozkładu, wpływ jonizacyjny promieni gamma powinien słabnąć, a szybkość opadania listków elektroskopu — zmniejszać się. Pierwszym fizykiem, który zupełnie jasno wykazał, że przy obserwacjach, wykonanych w balonie, otrzymuje się wyniki wręcz przeciwne, że w miarę podnoszenia

się intensywność promieniowania przenikliwego rośnie, był V. F. Hess w Austrji, który w tym celu w latach 1911 i 1912 dokonał szeregu podróży powietrznych. Hess[1]) pierwszy również wyciągnął ze swych obserwacyj wniosek, że promieniowanie przenikliwe, rosnące w miarę wznoszenia się, musi być pochodzenia nieziemskiego, a więc — kosmicznego. Słusznie zatem niektórzy autorowie nadają promieniowaniu kosmicznemu miano promieniowania Hessa. W. Kolhörster w Niemczech odbył w r. 1913 i 1914 kilka wzlotów, mających na celu badania nad promieniowaniem kosmicznem. Gdy Hess nie przekroczył 5200 m., Kolhörsterowi udało się osiągnąć wzniesienie, wynoszące 9300 metrów ponad poziom morza. Kolhörster posługiwał się udoskonalonemi przyrządami; otrzymał wyniki zgodne z rezultatami, które zdobył Hess. Te prace, jeszcze przed Wielką Wojną wykonane, stwierdziły ponad wszelką wątpliwość istnienie promieniowania pochodzenia kosmicznego, odznaczającego się znacznie większą przenikliwością, niż promienie gamma ciał promieniotwórzych, zasługującego zatem na nazwę promieniowania ultra-gamma.

Istotne postępy w tej niezmiernie interesującej dziedzinie zostały dokonane po wojnie przez R. A. Millikana i jego współpracowników Bowena i Camerona. Fizycy amerykańscy zdołali prześledzić działanie promieniowania kosmicznego aż do wysokości 15 kilometrów, pozatem określili spółczynniki absorbcji promieniowania kosmicznego przez wodę [2]), dokonywując obserwacyj w nader wysoko położonych i niezmiernie głębokich jeziorach górskich. Na podstawie spółczynnika absorbcji, opierając się na danych teoretycznych, obliczył też Millikan przypuszczalną długość fali promieni kosmicznych, znajdując, że $\lambda$ ich jest przynajmniej 10 razy mniejsze od $\lambda$ przenikliwych promieni gamma. Choć liczby tym sposobem otrzymane nie mogą być uważane za ostatecznie ustalone, wyciągnął Millikan z nich daleko idące wnioski o powstawaniu promieni ultra-gamma w przestrzeniach międzygwiazdowych przy syntezie pierwiastków z protonów i elektronów. Badania Millikana uzyskały niezwykły rozgłos dzięki temu, że autor uważał za sto-

---

[1]) Interesującą pracę Hessa oraz wyjaśnienie metody pomiarów promieniowania przenikliwego znajdzie czytelnik niżej.

[2]) Równocześnie, nawet wcześniej nieco, badali w Rosji pochłanianie promieniowania kosmicznego przez wodę L. Mysowski i L. Tuwim; zanurzali oni swój przyrząd jonizacyjny w wody jeziora Oneżskiego, aż do głębokości 10 metrów. Wyniki tych autorów są zgodne z wynikami Amerykanów.

sowne komunikować swoje wyniki reporterom gazet amerykańskich, którzy nie omieszkali nadać całej sprawie charakter jak najbardziej sensacyjny. Choć niesłusznem byłoby wiązać promienie kosmiczne z nazwiskiem Millikan'a, jak to czyniła prasa codzienna, niepodobna jednak nie uznać ogromnych zasług tego badacza, który uczynił potężny wysiłek, by nowemi danemi oświetlić zagadnienie istoty i genezy tajemniczego promieniowania, które, niewątpliwie, prędzej, niż jakiekolwiek inne zjawiska, pozwoli ludzkości przeniknąć tajniki wielkich procesów, zachodzących w łonie materji kosmicznej.

Pierwsze obserwacje badaczy amerykańskich zostały dokonane wiosną r. 1922 [1]). Przy pomocy mechanika Instytutu Fizycznego w Pasadenie (Kalifornja), gdzie Millikan jest profesorem, skonstruowano cztery elektroskopy, które w sposób przedziwny łączyły precyzję z niezwykłą lekkością. Dość powiedzieć, że cały aparat, zawierający tak elektroskop, jak i przyrządy do wyznaczania temperatury i ciśnienia, a zarazem urządzenia, notujące wskazania przyrządów na błonach fotograficznych, ważył tylko *190 gr.* Aparaty te przyczepiano do dwu baloników, napełnionych wodorem, o średnicy 95 cm. każdy. W dołączonej kartce proszono znalazcę, by odesłał aparat pod wskazanym adresem. Z czterech aparatów, puszczonych w powietrze, powróciły do badaczy trzy. Z nich jeden osiągnął wysokość 11,2 km., drugi — 15,5 km. Notowania elektroskopu dwunitkowego, tego samego typu, co i elektroskop opisany na str. 521, wskazywały, że natężenie promieniowania, zgodnie z tem, co znaleźli i Hess i Kolhörster, rośnie wraz z wysokością. Wszelako przyrost intensywności na dużych wysokościach był znacznie mniejszy, niżby należało oczekiwać na podstawie obserwacyj Kolhörstera. Tę niezgodność wyjaśniły później prace samego Kolhörstera, który, korzystając ze szczelin w lodowcach na Jungfrau w Alpach, badał pochłanianie promieniowania kosmicznego przez lód i stwierdził, że spółczynnik absorbcji, obliczony na podstawie pierwszych obserwacyj balonowych, był zbyt duży.

Jedyny sposób badania natury promieniowania kosmicznego polega narazie na wyznaczaniu absorbcji. Pochłanianie promieni $X$ i gamma zachodzi według prawa wykładniczego. Jeżeli oznaczymy natężenie promieniowania padającego na warstwę ciała o grubości

---

[1]) Zostały ogłoszone znacznie później: R. A. Millikan and I. S. Bowen. High frequency rays of cosmic origin. I. Sounding baloon observations at extreme altitudes. Physical Review, 1925, t. 27, s. 353.

$x$ przez $I_0$, to natężenie promieniowania $I$, które przejdzie przez tę warstwę, da się wyrazić wzorem

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

gdzie $e$ oznacza podstawę logarytmów naturalnych a $\mu$ — spółczynnik absorbcji. Widać z wzoru powyższego, że stopień osłabienia promieni po ich przejściu przez warstwę określonej grubości pozwala obliczyć spółczynnik absorbcji, który jest oczywiście tem mniejszy, im bardziej przenikliwe jest promieniowanie. W epoce poprzedzającej spektroskopję promieni Röntgena w ten sposób właśnie charakteryzowano różne rodzaje tych promieni; w analogicznem stadjum znajduje się obecnie badanie promieni kosmicznych.

Do prac nad pochłanianiem promieni kosmicznych najlepiej nadaje się woda, gdyż głębokie zbiorniki naturalne pozwalają rozporządzać warstwami grubości kilkudziesięciu metrów, niemal zupełnie wolnemi od domieszek promieniotwórczych. Pożądaną czystość posiada jednak tylko woda jezior wysokogórskich, zasilanych topniejącym śniegiem szczytów. W roku 1925 i 1926 dokonali Millikan i Cameron [1]) dwu imponujących ekspedycyj naukowych, przewyższających wszystko, co przedtem [2]) i potem było dokonane w tej dziedzinie. Wybrano jeziora Ameryki Północnej i Południowej, jak najlepiej czyniące zadość wymaganiom teoretycznem. Dokonano szeregu ścisłych pomiarów naukowych na wysokościach, których dosięgają tylko wyjątkowi turyści. Łatwo sobie wyobrazić, jak mozolnem było docieranie do tych miejsc z aparaturą naukową i dokonywanie tam długotrwałych obserwacyj. Wymienimy tylko dwa najwyżej położone jeziora, w których zanurzano elektroskopy. W Ameryce Północnej zdołano dokonać obserwacyj w jeziorze Muir, znajdującem się na wysokości 3600 metrów pod wierzchołkiem najwyższego w Stanach Zjednoczonych szczytu, Mount Whitney (jezioro ma ok. 600 m. szerokości i kilkadziesiąt metrów głębokości). W Ameryce Południowej

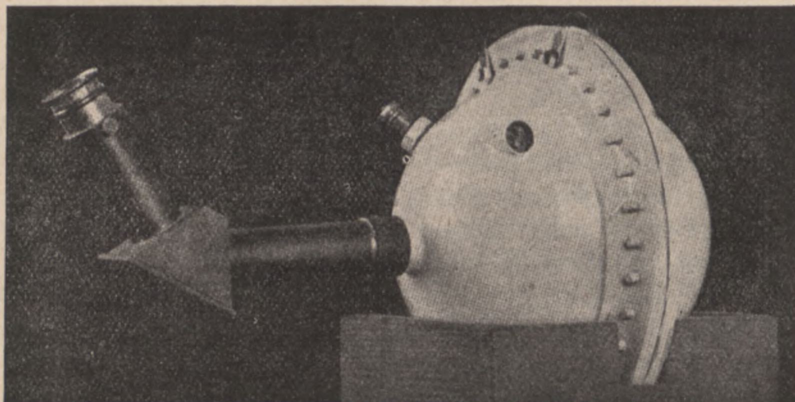
---

[1]) R. A. Millikan and G. Harvey Cameron. High frequency rays of cosmic origin. III. Measurements in snow-lakes at high altitudes. Physical Review, 1926, t. 28, s. 251.

R. A. Millikan and G. H. Cameron. High. altitude tests on the geographical, directional and spectral distribution of cosmic rays. Phys. Rev., t. 31, 1928, s. 163.

[2]) W. Kolhörster jeszcze w r. 1923 wykazał pochłanianie promieniowania kosmicznego przez wodę. W jego doświadczeniach zjawisko zostało stwierdzone raczej jakościowo, niż ściśle ilościowo. Naogół prace fizyków amerykańskich uderzają bardziej wydoskonaleniem technicznem metod badania, aniżeli zasadniczo nowemi ideami.

uczeni dotarli do jeziora Miguilla w Boliwji, znajdującego się w Wysokich Andach, którego wody są wzniesione o 4570 metrów ponad poziom morza (jezioro posiada 38 metrów głębokości, 214 m. szerokości i 610 m. długości). Wszystkie obserwacje, dokonane w wodach jezior, dały wyniki absolutnie zgodne, układające się na jednej krzywej. Okazało się, że intensywność promieniowania kosmicznego maleje w miarę zanurzania elektroskopu w wodzie, woda zatem pochłania te promienie. Na tej samej głębokości zanurzenia elektro-

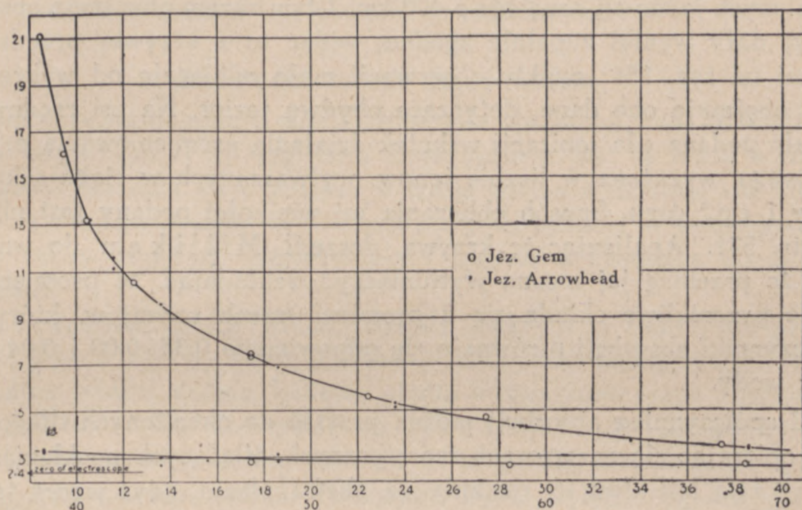


Rys. 153.
Elektroskop głębinowy Millikana i Camerona.

skopy wykazują jednakową intensywność promieniowania tak w jeziorach północnej, jak i południowej półkuli. Jeżeli jeziora znajdują się na różnych wysokościach, należy uwzględnić pochłanianie przez atmosferę, przyczem działanie powietrza można zastąpić działaniem słupa wody równoważnej wysokości. Okazało się dalej, że promieniowanie nie ma charakteru kierunkowego, gdyż w bardzo głębokiej dolinie, okolonej zewsząd wysokiemi górami, a znajdującej się w Andach na wysokości 4700 m., posiadało to samo natężenie, co i na otwartych miejscach. Wynika stąd, że promieniowanie przenikliwe jest promieniowaniem rozproszonem we wszystkich kierunkach.

Dokonywując we wspomnianej dolinie dwu seryj spostrzeżeń, trwających po trzy dni każda, mogli Amerykanie dowieść, że promieniowanie kosmiczne nie pochodzi z Drogi Mlecznej. Poprzednio już wykazał Kolhörster, że promienie kosmiczne są niezależne od słońca.

W następnych latach Millikan i Cameron udoskonalili swą aparaturę, co pozwoliło znacznie posunąć naprzód ścisłość pomiarów. Nowy ich elektroskop, opisany w pracy z roku 1928 [1]), widzimy na rysunku 154. Był on przeznaczony specjalnie do doświadczeń podwodnych. Zewnętrzny pancerz ochronny, zrobiony z 6 mm. blachy stalowej, miał kształt kulisty. Wewnątrz niego znajdowały się




Rys. 154.

Wykres zależności natężenia promieniowania kosmicznego od zanurzenia elektroskopu w wodzie. Na osi odciętych głebokość zanurzenia w metrach; na osi rzędnych jonizacja, wyrażona liczbą jonów na 1 cm.$^3$ i sekundę. Krzywa składa się z dwu części, umieszczonych jedna pod drugą.

nitki elektroskopu; wskazania elektroskopu odczytywano przez specjalne okienko zapomocą mikroskopu, który odejmowano przy zanurzaniu przyrządu w wodzie. Przyrząd trzymano w wodzie przez szereg godzin; wyciągnąwszy go na powierzchnię, odczytywano stratę ładunku. Zwiększenie czułości elektroskopu wynikało ze sprężenia w nim gazu do 8 atmosfer; dzięki temu promieniowanie przenikliwe o danem natężeniu wytwarzało osiem razy więcej jonów, niż w przyrządach poprzednio używanych. Uczulony elektroskop pozwalał wy-

[1]) R. A. Millikan and G. H. Cameron. New precision in cosmic ray measurements; yielding extension of spectrum and indications of bands. Physical Review, 1928, t. 31, 921.

krywać promieniowanie kosmiczne w wodzie jeszcze na głębokości kilkudziesięciu metrów, co było równoważne ekranowi *ołowianemu* o grubości *kilku metrów*, gdy najprzenikliwsze promienie Röntgena, wytwarzane w klinikach, nie przebijają pancerza ołowianego grubości $1^1/_2$ *centymetra*. Posługując się tym przyrządem, uczeni amerykańscy raz jeszcze przeprowadzili badania w jeziorach Stanów Zjednoczonych: Gem (na wysokości 2750 metrów) i Arrowhead (1550 m.), oddalonych jedno od drugiego o 400 km. I tym razem obie serje obserwacyj dały wyniki zupełnie zgodne; widać to z krzywej przedstawionej na rys. 154; punkty obserwacji mało odbiegają od wykresu, choć obejmują one dane, dotyczące obydwu jezior. Na osi rzędnych została podana siła jonizacji wskutek działania promieniowania przenikliwego, wyrażona w liczbie jonów, wytwarzanych w ciągu sekundy w 1 cm.$^3$ gazu. Sposób obliczania tej wielkości podany jest niżej na str. 521. Analizując tę krzywą, doszedł Millikan do wniosku, że przebieg jej można wytłumaczyć, zakładając, że promieniowanie przenikliwe składa się z promieni trzech rodzajów, których spółczynniki absorbcji $\mu$ równają się odpowiednio 0.35, 0.08 i 0.04 na metr wody.

Od spółczynnika absorbcji można przejść do określonych długości fali, opierając się na wzorach teoretycznych, wiążących pochłanianie z długością fali. Jest to, rozumie się, ekstrapolacja, gdyż wzory tego rodzaju mogą być sprawdzone jedynie w obrębie promieni $X$ i gamma. Kilka liczb otrzymanych w ten sposób, umieściliśmy ze znakiem zapytania w tabeli fal elektromagnetycznych podanej na początku tego działu [1]. Zauważmy, iż liczby zdobyte w ten sposób, nie wydają się pewne, między innemi dlatego, że interpretacja krzywej ciągłej, otrzymanej w doświadczeniach z absorbcją (rys. 154), jest, pomimo wszystko, dowolna; skądinąd i samą krzywą możnaby odmiennie poprowadzić, czyniąc zadość punktom obserwacji.

Millikan wyciąga z liczb swoich daleko idące wnioski. Mniema, że promienie kosmiczne powstają w przestworzach przy syntezie pierwiastków z elektronów i protonów. Dokonywa odpowiednich obliczeń i znajduje zgodność ze swojemi obserwacjami. Okazuje się, że promieniowanie o spółczynniku absorbcji 0.35 na metr wody, powstaje przy syntezie helu z jąder wodoru i elektronów. Hipotezy te są nader ponętne; otwierają nowe szerokie horyzonty i myśli, i fan-

[1]) $\lambda = 0{,}00008$, odpowiadające w okrągłej liczbie 150000000 wolt, podał Milikan w pracy cytowanej na str. 487.

tazji. Nie rozwijamy ich, gdyż, dla wyżej wymienionych względów, nie wydają się dość ugruntowane eksperymentalnie. Można jednak twierdzić z b. wysokim stopniem prawdopodobieństwa, że promienie kosmiczne składają się z fal przynajmniej dziesięciokrotnie krótszych od najprzenikliwszych promieni gamma i że muszą powstawać w związku z jakiemiś procesami, dotyczącemi jąder atomów, gdyż zmiany w zewnętrznej powłoce elektronowej nie mogłyby wytwarzać promieniowania o tak wielkiej przenikliwości.

## VI. Podczerwona część widma.

Podczerwień obejmuje obecnie olbrzymi obszar od 7600 do 4000000 jedn. Angströma. Pod względem metodycznym jest to jedna z trudniejszych dziedzin. Gdy badania w części widma widzialnej i w ultrafiolecie rzucają światło na budowę atomów, badania w podczerwieni dają cenny materjał, przyczyniający się do wyjaśnienia struktury molekuł.

Podczerwona części widma została odkryta w roku 1800 przez W. Herschla[1]), który przesuwał okopconą kulkę czułego termometru wzdłuż widma, badając ciepło wytwarzane przez promienie różnych barw. Nie zatrzymał się Herschel na skrajnej czerwieni, lecz umieścił kulkę również i w przestrzeni ciemnej, poza czerwonym końcem widma. Termometr i tam wykazał ogrzewanie,— większe nawet, niż w jakiejkolwiek części widma widzialnego. Jakeśmy już wspominali, w roku następnym 1801 J. W. Ritter odkrył w sposób analogiczny ultrafiolet, badając działanie chemiczne poszczególnych barw na związki srebra. Około 40-stu lat toczyły się ożywione dyskusje na temat, czy promienie widzialne, podczerwone i nadfiołkowe są od siebie zupełnie odrębne, czy też, jak twierdził Ampère w r. 1835, są analogiczne i różnią się tylko długością fali. Jako argument odrębności t. zw. promieni cieplnych, przytaczał np. Melloni, wybitny badacz podczerwieni, fakt, że, jeżeli promienie słońca przepuścić przez wodę i przez szkło zielone, zabarwione tlenkiem miedzi, to otrzymuje się promienie nader intensywne, nie wytwarzające jednak ani odrobiny ciepła. Wiemy obecnie, że w tym i w podobnych przypadkach błędne wnioskowanie wynikało z użycia niedość czułych przyrządów odbiorczych. Stosowane dziś czułe termometry elektryczne łatwo pozwalają mierzyć intensywność promieniowania nietylko w bardziej łamliwych częściach widma widzialnego, lecz nawet i w ultrafiolecie.

---

[1]) P. str. 201.

**Źródła promieniowania.** Jako źródeł emisji promieni podczerwonych używa się najczęściej cienkich laseczek ze złych przewodników, np. z tlenków ziem alkalicznych, które silnie się rozżarzają pod wpływem prądu elektrycznego. Przed 20-tu przeszło laty stosowano takie pręciki w lampach Nernsta, obecnie już nieużywanych. Pozatem używa się też piecyków elektrycznych, zaopatrzonych w otworek, przez który wychodzi promieniowanie (sztuczne ciało czarne), lamp żarowych Auera i lamp rtęciowych z kwarcu. Trudność badań w podczerwieni wynika przedewszystkiem stąd, że natężenie promieniowania szybko spada ze zwiększeniem się długości fali, dalej —, iż promienie długofalowe są nader silnie pochłaniane przez wszelkie ciała materjalne. Aby scharakteryzować punkt pierwszy, podajemy poniżej liczby, dotyczące energji wypromieniowanej przez ciało czarne o temperaturze 2000° C. Natężenie promieniowania wyrażone zostało w jednostkach dowolnych; długość fali — w mikronach (1 $\mu = 10^{-3}$ mm.).

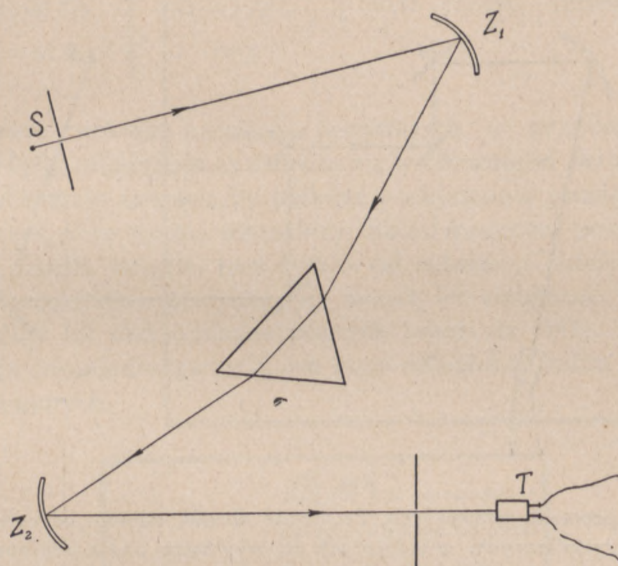
| $\lambda$ w mikronach | Natężenie prom. |
|---|---|
| 1.4 | 100 |
| 5.0 | 9 |
| 10 | 0,8 |
| 30 | $10^{-2}$ |
| 60 | $10^{-3}$ |

Jak widzimy, spadek promieniowania ciała czarnego jest niezmiernie szybki. Bardzo długie fale podczerwone otrzymuje się zapomocą źródeł specjalnych, jak palnik Auera i lamp rtęciowa, kwarcowa. Ta ostatnia jest jedynem źródłem fal najdłuższych,—od 200 $\mu$ do 400 $\mu$.

**Oddzielanie fal różnej długości.** Do oddzielenia promieniowań o różnem $\lambda$ najlepiej się nadają spektrometry pryzmatyczne. Jako materjału na pryzmaty używa się najczęściej soli kamiennej (NaCl), która jest dostatecznie przezroczysta do 14 $\mu$; sylwin (KCl), jeżeli używać pryzmatów cienkich o kącie łamiącym 12 — 20°, pozwala dojść do 23 $\mu$. Poza tą długością fali użycie pryzmatycznych aparatów spektralnych jest niemożliwem ze względu na kompletne pochłanianie promieniowania przez pryzmat.

Na rysunku 155 został schematycznie przedstawiony spektrometr do badań w podczerwieni. Charakterystycznem jest użycie zwierciadeł wklęsłych, zamiast soczewek, ze względu na olbrzymie trudności jakieby nastręczało sporządzanie układów achromatycznych i ze względu na nieuniknione pochłanianie promieniowania przez soczewki.

Siatki dyfrakcyjne używane są z powodzeniem w tej dziedzinie widma, lecz tylko wtedy, gdy się już uda jakiemikolwiek metodami

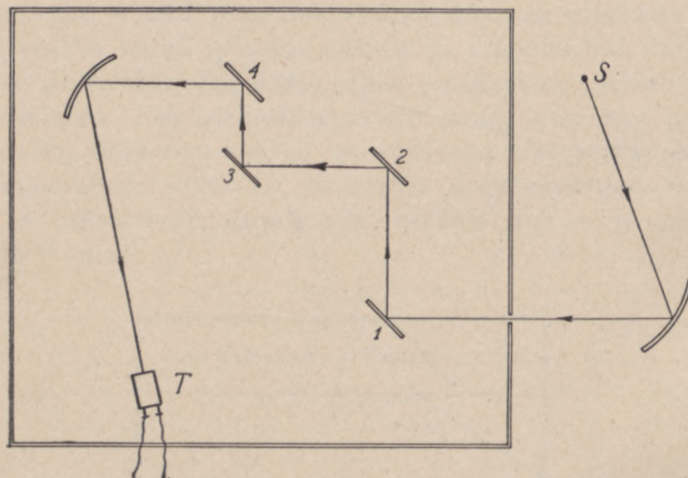



Rys. 155.
Schemat spektrometru do badań w podczerwieni.

oddzielić niewielki odcinek widma. Przy użyciu całkowitego promieniowania otrzymywałoby się zbyt skomplikowane obrazy ze względu na nakładanie się widm różnego rzędu. Rozwikłanie byłoby tu trudniejsze, niż w promieniach widzialnych lub ultrafiolecie, gdyż widma podczerwieni nie są linjowe, lecz mają bądź charakter ciągły, bądź też składają się ze skomplikowanych pasm. Siatka dyfrakcyjna nie może zastąpić pryzmatu i dlatego jeszcze, że wytwarza widma o stosunkowo małej intensywności, gdyż przeważna część energji skupia się w obrazie nieodchylonym. Interesującem jest, że w podczerwieni prócz siatek odbijających, kreślonych na metalu, często są używane siatki wytworzone z drucików, przypominające pierwsze przyrządy F r a u n-

hofera. Częsty typ stanowi siatka o drucikach grubości $^1/_{50}$ mm., pomiędzy któremi zostawia się odstęp $= ^1/_{25}$ mm.

Z powyższego wynika, że niema skutecznej metody, pozwalającej badać systematycznie podczerwień o $\lambda > 23\,\mu$. Dzięki pomysłowi H. Rubensa i E. F. Nicholsa (1897) udało się jednak, częściowo przynajmniej, przeniknąć w tę dziedzinę i badać grupy fal, rozsiane po tym obszarze. Taką metodą, pozwalającą bez użycia




Rys. 156.
Metoda promieni pozostałych. Promienie ulegają odbiciu od czterech płytek krystalicznych, znajdujących się wewnątrz pudła ochronnego, następnie, po odbiciu od zwierciadła, padają na odbiornik *T*.

pryzmatu wyodrębniać promienie prawie monochromatyczne, jest metoda promieni pozostałych (niem. Reststrahlen). Rubens zauważył mianowicie, że liczne ciała krystaliczne, jak sól kamienna, sylwin, fluoryt i t. p., silnie pochłaniające pewne promienie podczerwieni, powinny promienie te również silnie odbijać. Istotnie, okazało się, że ciała krystaliczne mają zdolność selektywnego odbijania promieni podczerwonych określonej długości fali, naogół różniącej się cokolwiek od $\lambda$ najintensywniejszego pochłaniania. Zdolność odbijania fal wybranych dochodzi do 80%; mamy tu zatem do czynienia z odbiciem przypominającem odbijanie światła przez metale. Poddając kilkakrotnemu odbiciu wiązkę promieniowania mieszanego, sprawimy, iż w wiązce odbitej będą zawarte prawie wyłącznie fale, podlegające odbiciu metalicznemu, gdyż pozostałe będą przechodzić wgłąb pły-

tek krystalicznych. Weźmy dla przykładu odbicie od soli kamiennej mieszaniny promieni, zawierających podczerwień od widma widzialnego do 33 $\mu$ i promieniowanie o $\lambda = 52\,\mu$. Tabelka poniższa ilustruje skład promieniowania po trzech kolejnych odbiciach.

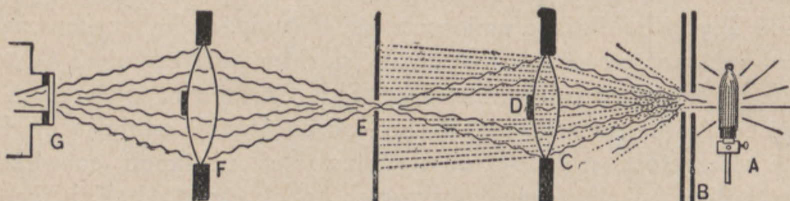
| | Pozostaje po | | |
|---|---|---|---|
| | jednem | dwu | trzech odbiciach |
| Promienie od skr. czerwieni do $33\mu$. | $(4 - 1^1/_2)\%$ | $(0.16 - 0.02)\%$ | $(0.0064 - 0.0003)\%$ |
| Prom. o $\lambda = 52\,\mu$ . | $80\%$ | $64\%$ | $51.2\%$ |

Stosowanie metody promieni pozostałych w praktyce wyjaśnia rys. 156. Płytki odbijające umieszcza się w zamkniętej skrzynce, zawierającej substancje suszące, by uniknąć pochłaniania promieni długofalowych przez parę wodną atmosfery. Skład promieni pozostałych nie zależy od źródła światła, lecz tylko—od substancji odbijającej. Promienie te często charakteryzuje się nazwą tej substancji, co widzimy np. w tablicy fal elektromagnetycznych (obok str. 441). Tabelka poniższa daje promienie, pozostające przy odbiciu od kilku ciał najczęściej stosowanych.

| Ciało | Długość fali prom. pozostałych (wartość średnia) |
|---|---|
| $SiO_2$ (kwarc) | $8.5\mu$ $20.75\mu$ |
| NaCl | 52 $\mu$ |
| KCl | 63.4 „ |
| KBr | 82.6 „ |
| KJ | 94.1 „ |
| TlBr | 117.0 „ |
| TlJ | 151.8 „ |

151.8 $\mu$ jest największą długością fali, jaką można izolować metodą promieni pozostałych. Badania, dokonane tą metodą, stały się również punktem wyjścia w zastosowaniu kwarcu do oddzielania spektralnego fal jeszcze dłuższych. Okazało się mianowicie, że kryształ górny, który jest doskonale przezroczysty dla bliskiego ultrafioletu i wi-

dzialnej części widma, traci swą przezroczystość w podczerwieni, poczynając od 4 μ; staje się on jednak znów przezroczysty dla fal bardzo długich, przyczem jego spółczynnik załamania rośnie nienormalnie i osiąga około 100 μ wartość ogromną, — około 2,2. Znaczy to, iż kwarc załamuje długie fale podczerwone prawie tak silnie, jak diament promienie widzialne. Stosując cienki pryzmat kwarcowy, można oddzielić fale bardzo długie dzięki ich wielkiemu spółczynnikowi załamania. Uskutecznia się to dokładniej, używając soczewek kwarcowych. Tę nader dowcipną metodę opracowali (1910) Rubens i Wood. Czytelnik łatwo ją zrozumie z rysunku 157. Używa się dwu soczewek kwarcowych *C* i *F*. Soczewka *C* jest tak ustawiona, iż rzuca obraz otworu w diagramie *B* na otwór w ekranie *E*;




Rys. 157.
Soczewka *C* skupia promienie długofalowe palnika Auerowskiego w *E*, soczewka *F* rzuca je na odbiornik *G*. Promienie o fali krótkiej, (linje przerywane) słabiej załamywane, tworzą za soczewką wiązkę rozbieżną, zatrzymywaną przez ekran.

obraz tego znów otworu wytwarza soczewka *F*, która skupia promienie w aparacie odbiorczym *G*. Odległości soczewek od ekranów są jednak tak wybrane, że zbierają się w miejscach wskazanych tylko fale najdłuższe, o wielkim spółczynniku załamania, zaznaczone na rysunku linjami sinusoidalnemi. Dla fal krótkich, mniej łamliwych, oznaczonych na rysunku kreskami, odległość ekranu *B* od soczewki *C* jest mniejsza od odległości ogniskowej; po przejściu przez soczewkę *C* tworzą promienie krótkofalowe wiązkę rozbieżną. Aby usunąć te fale krótkie, któreby mogły dojść do otworu *E* przez środek soczewki, daje się niewielki krążek metalowy *D*, stanowiący skuteczną zasłonę. Właściwie wystarczałaby sama soczewka *C*; druga — pozwala osięgnąć większą dokładność w oddzieleniu fal.

Promieniowanie długofalowe, oddzielone zapomocą soczewek kwarcowych, jest nader niejednorodne. Jego granicę po stronie fal krótkich warunkuje nieprzezroczystość kwarcu; po stronie fal długich promie-

niowanie to urywa się dla niedostatecznej intensywności źródła. Stosując palnik żarowo - gazowy Auera i soczewki kwarcowe grubości łącznej 2 cm. obserwowano widmo, mające ok. 100 $\mu$ swe maximum, i posiadające ok. 200 $\mu$ około $^{1}/_{10}$ natężenia maksymalnego. Znacznie dalej można się było posunąć w stronę fal długich, zastępując palnik Auerowski łukiem rtęciowym w osłonie kwarcowej. W emisji pary rtęciowej znaleziono dwa maxima, mianowicie — w okolicy 218 $\mu$ i 343 $\mu$. Widmo sięgało niemal do 400 $\mu$. A zatem najdłuższe obserwowane fale podczerwone [1]) miały długości około *0.4 milimetra,* były zatem 680 razy dłuższe od fal żółtych linij sodowych. Tym sposobem zbliżono się już ogromnie do najkrótszych fal Hertza; jak się okaże niżej, przeniknięto w tych badaniach w dziedzinę fal Hertza, idąc od strony podczerwieni i uzyskując tą drogą jeszcze jeden bezpośredni dowód elektromagnetycznego charakteru zjawisk optycznych.

**Wykrywanie promieni podczerwonych.** Zapomocą klisz, uczulonych specjalnemi barwnikami (np. neocyaniną), można fotografować widmo nie dalej, niż do 1.1 $\mu$; wobec tego główną metodą badania podczerwonej części widma pozostaje i dziś jeszcze metoda termometryczna. Używane są jako odbiorniki promieniowania wyłącznie termometry elektryczne, gdyż one jedne posiadają dostateczną czułość. Wydoskonalono je w ostatnich latach do tego stopnia, że obecnie można wykrywać promieniowanie świecy w odległości stu metrów. Termometry, używane do badań w podczerwieni, dzielimy na dwie główne grupy: a) na termometry termoelektryczne i b) termometry oporowe zwane w tym przypadku bolometrami.

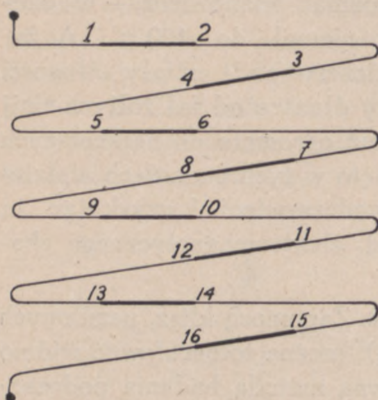
*Bolometr* tworzymy, umieszczając w jednej z gałęzi mostu Wheatstone'a cieniutkie wyczernione pasemko platynowe. Pod działaniem promieniowania pasemko ogrzewa się, jego opór ulega zmianie. Zmiana oporu jest miarą natężenia promieni padających. Dla zwiększenia czułości używa się pasemek jak najcieńszych, np. o grubości 0.003 mm.

W badaniach lat ostatnich na plan pierwszy wysunęły się *stosy termoelektryczne,* które nie ustępują bynajmniej w czułości bolome-

---

[1]) P. Dr. S. Szczeniowski w artykule, umieszczonym w t. III, 1, „Fizyki i Chemji w Szkole" („Fizyka współczesna", s. 88), podaje, że Nichols i Tear, badając promieniowanie lampy rtęciowej doszli aż do 420 $\mu$. Praca ta, jak mnie uprzejmie poinformował p. Dr. Szczeniowski, była ogłoszona w „Astrophysical Journal" z r. 1923. Pozostała ona naogół nieznaną; nie cytuje tych wyników żadna z kilku ostatnio ogłoszonych monografij o widmie w podczerwieni (Rawlins i Taylor, Schäfer i Matossi, Gerda Laski i t. d.).

trom, a są od nich znacznie dogodniejsze w użyciu. Uczyniono duże postępy w konstrukcji stosów termoelektrycznych, używając par metali, dających duże siły elektromotoryczne. Stosuje się np. druciki bizmutu i srebra, telluru i srebra, lub też specjalne stopy. Używa się drucików cienkich, by mieć do czynienia z minimalnemi masami; druciki srebra mają od 0.02 do 0.05 mm. średnicy, *Bi* — 0.1 mm. średnicy. Aby móc dokładnie mierzyć rozkład energji w widmie, należy rozporządzać stosem termoelektrycznym linjowym. Sposób łączenia drucików w stosie linjowym wyjaśnia rys. 158. Spojenia parzyste leżą na jednej linji: cały termometr umieszczony jest w osłonie metalowej, zaopatrzonej w szczelinę, przez którą promieniowanie pada na środkowe parzyste spojenia. Nie wystarcza, rozumie się, posiadanie stosu o dużej sile termoelektrycznej; nieodzowny jest jeszcze galwanometr o wysokiej czułości. W pracach, gdzie chodzi o b. subtelne pomiary stosuje się galwanometry, wykazujące jeszcze $10^{-10}$ do $10^{-13}$ ampera (na skali, znajdującej się w odległości 1 metra, prąd wskazanego rzędu daje wychylenie = 1 mm.). Galwanometry o tak wielkiej czułości wymagają nader zmudnej regulacji.

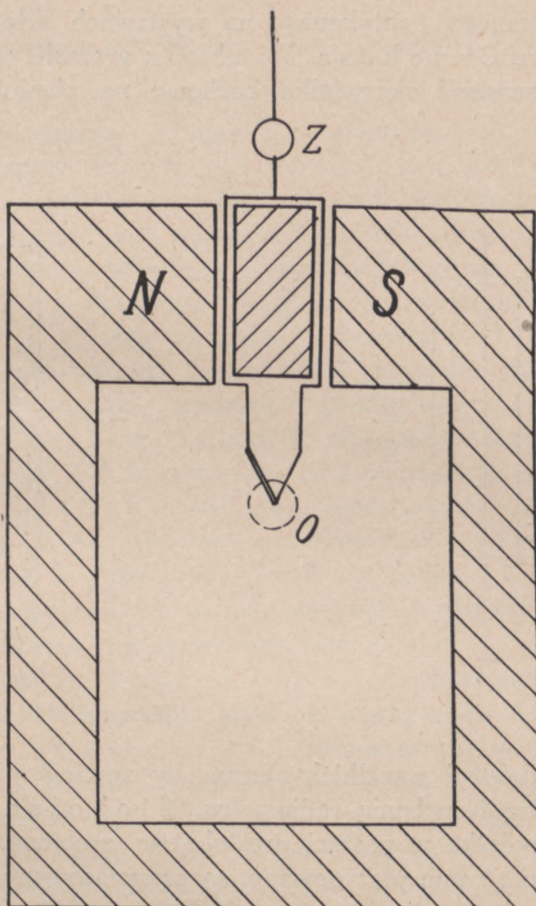



Rys. 158.
Schemat połączenia drucików w linjowym stosie termoelektrycznym.

Można wielokrotnie powiększyć czułość i bolometrów, i stosów termoelektrycznych, umieszczając w próżni części metalowe, ogrzewane przez promieniowanie. Zwiększenie czułości osięga się dzięki temu, że ogrzane części nie tracą energji wskutek konwekcji powietrza, uzyskują zatem większą temperaturę.

Posługując się w pomiarze temperatury metodą termoelektryczną musimy zosobna regulować termoelement i galwanometr. B o y s połączył te obydwie części w jedną całość i otrzymał nader czuły przyrząd, który nosi nazwę *radiomikrometru.* Przyrząd ten jest galwanometrem ramkowym, w którym zwój ruchomy jest połączony bezpośrednio z małem ogniwem termoelektrycznem. Na rys. 159 widzimy ogniwo połączone z dolną częścią ruchomej ramki. Promieniowanie, które pada przez specjalne okienko (cały przyrząd jest zamknięty w grubym pancerzu metalowym) na spojenie *o*, wytwarza siłę

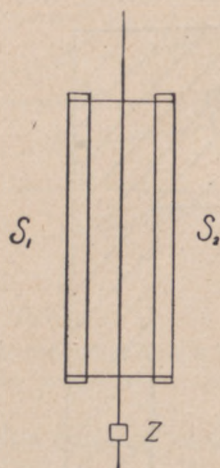
elektromotoryczną, która w krótkim obwodzie daje prąd o stosunkowo dużem natężeniu. Ramka, znajdująca się w polu magnetycznem, odchyla się przy przepływie prądu; zwierciadełko *z* pozwala odczytać kąt odchylenia.



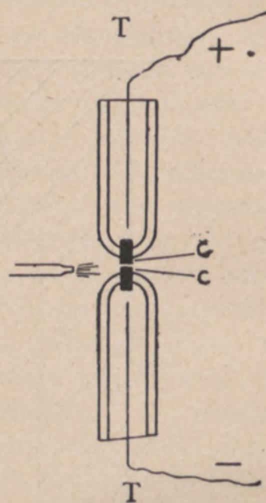

Rys. 159.
Radiomikrometr.

Radiomikrometr jest przyrządem stosunkowo ciężkim; nie daje się połączyć w jedną całość ze spektrometrem i dlatego, naogół, nie nadaje się do pomiarów spektralnych. Jeszcze trudniej byłoby użyć do tego celu *radiometru,* który jednak w niektórych badaniach specjalnych oddał cenne usługi. Najczęściej stosunkowo posługiwali się

radiometrem fizycy amerykańscy. Z nich najdonioślejsze wyniki, szczególnie w badaniu przejścia od podczerwieni do fal Hertza, otrzymał E. F. Nichols. Ponieważ w następnym paragrafie zajmiemy się pracami Nicholsa, opiszemy tu bliżej skonstruowany przezeń radiometr. Radiometr Nicholsa stanowi modyfikację powszechnie znanego, spotykanego na wystawach sklepowych optyków, radiometru Crookes'a. Nichols wyczulił przyrząd dzięki temu, że zawiesił skrzydełka ruchome na cieniutkiej niteczce




Rys. 160.
Część ruchoma radiometru Nicholsa.




Rys. 161.
Wibrator Nicholsa Teara.

kwarcowej i dołożył wszelkich starań, by zmniejszyć wagę części ruchomych. Część ruchomą radiometru Nicholsa widzimy na rys. 160. Skrzydełka w postaci prostokątów, zrobione z najcieńszej miki, po jednej stronie platynowane, są przymocowane do osi szklanej, zawieszonej na nitce kwarcowej. Dolna część osi jest zaopatrzona w lustereczko prostokątne *z*. W swej pracy z roku 1923 zdołał Nichols do tego stopnia zredukować wymiary wszystkich organów radiometru, iż cała część zawieszona ważyła mniej, niż *miligram*. Aby dać wyobrażenie o zmniejszeniu wymiarów, wskażemy, iż zwierciadełko do mierzenia kątów było zrobione ze szkiełka pokrywkowego mikroskopu grubości 0.07 mm.; boki lustereczka miały $^1/_2$ mm. wysokości i 1 mm. szerokości. Promieniowanie podczerwone padało przez cieniutkie okienko mikowe na jedno ze skrzydełek

radiometru; różnica temperatur obu stron skrzydełka powodowała wychylenie części ruchomej.

Dogodność radiometru polega na tem, że nie podlega on zakłóceniom o charakterze elektromagnetycznym. Jego główną wadę, uniemożliwiającą szersze zastosowanie, stanowi nieprzenośność.

## VII. Najkrótsze fale Hertza i ich związek z podczerwienią.

Z pomiędzy badaczy, którzy, idąc śladem Henryka Hertza, starali się zmniejszyć długość fal elektrycznych, najwybitniejsze rezultaty osiągnęli Righi i Lebiedew; ten ostatni w roku 1895 zdołał przeprowadzić badania nad dwójłomnością promieni Hertza, stosując fale sześciomilimetrowe. Pozwoliło mu to zredukować wymiary wszystkich części aparatury do tego stopnia, że do pomiarów z łatwością mógł użyć zwykłego spektrometru optycznego, na którego ramionach zamocowywał wibrator i odbiornik termoelektryczny. Spółczynnik załamania fal mierzył Lebiedew zapomocą pryzmatu ebonitowego o wadze 2 gramów, gdy Hertz w pierwszych doświadczeniach używał pryzmatów o wadze 600 kilogramów. Aby zmniejszyć długość fali, zastosował Lebiedew wibrator typu pokazanego na rys. 161. Iskierka długości ok. 0.02 mm. przeskakiwała pomiędzy cylinderkami platynowemi o wysokości $1^1/_2$ mm. i o średnicy $^1/_2$ mm. Do cylinderków, nie dotykając ich jednak, dochodziły druciki platynowe, połączone z wtórnym obwodem cewki Ruhmkorffa.

W roku 1923 Nichols i Tear[1]) w Ameryce uczynili wielki krok naprzód w otrzymaniu krótkich fal Hertza. Zmodyfikowali oni wibrator Lebiedewa, zastępując cylinderki platynowe wolframowemi, również wtapianemi w szkło. Długość tych cylinderków w niektórych doświadczeniach wynosiła tylko 0.2 mm., średnica ich wahała się od $^1/_2$ do 0.2 mm. Iskierki długości ok. 0.01 mm. biły w ciekłym dielektryku, poddanym ciśnieniu kilku atmosfer. Zapomocą soczewek parafinowych koncentrowano promienie elektryczne na skrzydełkach radiometru, opisanego na str. 498. W tych badaniach zmodyfikowano urządzenie radiometru o tyle, że przed analogicznemi stronami obu skrzydełek, to jest przed skrzydełkiem $S_1$ i za skrzydełkiem $S_2$, na rys. 160 zamocowywano na niteczkach kwarcowych rodzaj resonatorów, któremi były poprostu skrawki cieniutkiego dru-

[1]) E. F. Nichols and J. D. Tear. Short electric waves. Physical Review, 1923, t. 21, s. 587.

cika platynowego o średnicy = 1 μ. Te niteczki platynowe przejmowały drgania elektryczne, których energja zamieniała się na ciepło; pod wpływem ogrzewania obracały się skrzydełka radiometru.

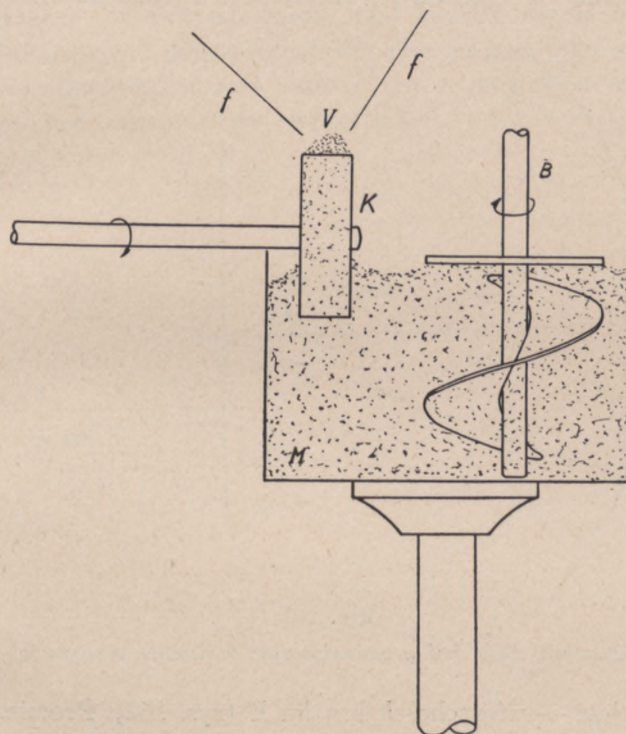
Nichols i Tear zdołali otrzymać drgania zasadnicze o $\lambda = 1{,}8$ mm. Mogli jednak stwierdzić domieszkę drgań harmonicznych o fali krótszej. Najkrótsze z fal obserwowanych miały $\lambda = 0{,}22$ mm., były zatem krótsze od najdłuższych podczerwonych fal Rubensa i Bayera. Nichols i Tear tym samym radiometrem, który służył do badań nad najkrótszemi falami Hertza, wykrywali też długie fale podczerwone, wysyłane przez lampę kwarcową, stwierdzając tem doświadczeniem identyczność obu rodzajów promieniowania. Krótkie fale Hertza, jak i długie podczerwone, łatwo przechodzą przez papier czarny, a są pochłaniane przez cieniutkie warstewki wody. Tak np. Arkadjewa-Głagolewa (p. niżej) znalazła, że suche płótno lniane bez osłabienia przepuszcza (100%) najkrótsze fale Hertza, a płótno zawilżone pochłania 76% ich energji.

Największą trudność w otrzymywaniu krótkich fal Hertza stanowi szybki spadek ilości energji wypromieniowanej przy zmniejszeniu wymiarów wibratora i prędkie zużycie wibratorów. Nader szczęśliwie usunęła te trudności uczona rosyjska A. Arkadjewa-Głagolewa [1]). Skonstruowała ona wibrator zupełnie nowego typu, o stosunkowo dużej wydajności w dziedzinie fal najkrótszych, który nazwała wibratorem masowym. (Ideę tego nowego wibratora dał prof. W. Arkadjew w Moskwie, w którego laboratorjum były prowadzone badania). Myśl zasadnicza polegała na wytwarzaniu naraz b. wielu iskierek pomiędzy miniaturowemi wibratorami, jakie stanowią opiłki metalowe, tworzące zawiesinę w ciekłym dielektryku. Ta idea została zrealizowana w sposób następujący (rys. 162). W naczyniu szklanem o średn. 7,7 cm. znajduje się mieszanina oleju i opiłek, możliwie jednorodnych, przesianych przez sita. Szybko obracający się krążek karbolitowy $K$ unosi część mieszaniny, która dzięki sile odśrodkowej tworzy na jego obwodzie rodzaj wałeczka. Do wałeczka dochodzą druty $f$ obwodu wtórnego cewki. Przy wyładowaniach powstają pomiędzy opiłkami mikroskopijne iskierki; zamiast jednego wibratora, mamy ich mnóstwo, dzięki

[1]) A. Glagolewa-Arkadiewa. Eine neue Strahlungsquelle der kurzen elektromagnetischen Wellen von ultrahertzscher Frequenz. Zeitschrift für Physik, 1924, t. 24, s. 153.

czemu intensywność emisji jest wzmożona. Obracające się mieszadło *B* podtrzymuje jednorodność mieszaniny i wprowadza w grę wciąż nowe opiłki.

Do mierzenia długości krótkich fal elektrycznych posługiwała się Głagolewa-Arkadiewa, jak i wszyscy zresztą badacze tej dziedziny, interferometrem niezmiernie prostej konstrukcji, wyna-

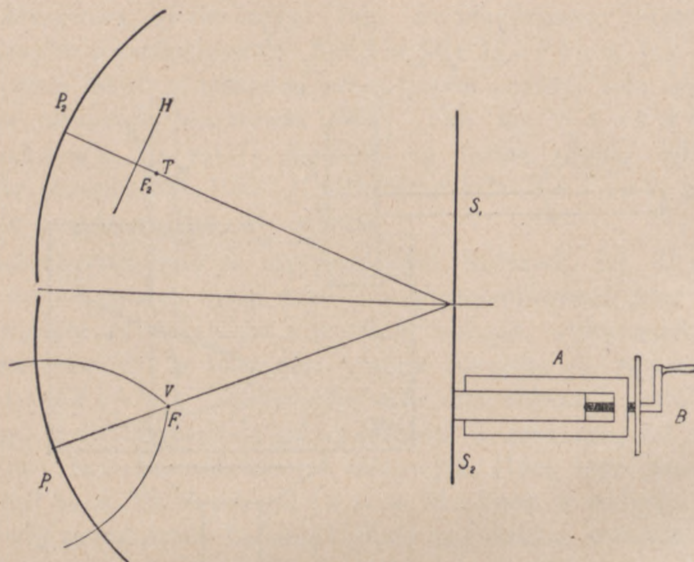



Rys. 162.
Wibrator masowy.

lezionym przez L. Boltzmanna, który posługiwał się nim po raz pierwszy w doświadczeniach pokazowych, dotyczących fal Hertza. Interferometr Boltzmanna jest płaskiem zwierciadłem metalowem, składającem się z dwu płytek [1]); jedna z nich jest nieruchoma; druga ruchoma, może być przesuwana o dowolną wielkość zapomocą śruby mikrometrycznej. Przesunięcie płytki rucho-

[1]) Dla przykładu wskażemy, że Nichols i Tear używali płytek mosiężnych grubości 6 mm. o wymiarach 5 × 10 cm.

mej o $^1/_4$ $\lambda$ wprowadza pomiędzy promieniami fal płaskich, padających niemal normalnie na zwierciadła, różnicę dróg $= \frac{1}{2}\lambda$. Przy systematycznym ruchu połówki ruchomej, fale odbite od dwu części zwierciadła będą miały to fazy zgodne, to znów przeciwne i zebrane w jednym punkcie będą się to wzmacniać, to osłabiać. Rysunek 163 pokazuje sposób użycia interferometru Boltzmanna przez uczoną rosyjską. W ognisku $F_1$ zwierciadła $P_1$ znajduje się iskiernik




Rys. 163.
Mierzenie dług. fali promieniowania wibratora masowego.

masowy, to jest — wierzchołek krążka $K$ (rys. 162). Promienie odbite od zwierciadła $P_1$ padają na płytki interferometru $S_1$ i $S_2$; pęk promieni równoległych pada następnie na zwierciadło $P_2$, w którego ognisku znajduje się odbiornik termoelektryczny, połączony z czułym galwanometrem. Płytka metalowa $H$ osłania ogniwo termoelektryczne od działania fal. Po usunięciu tej płytki galwanometr pokazuje wychylenie, zależne od energji drgania otrzymanego przy wzajemnem oddziaływaniu fal. Gdyby drgania wibratora masowego były ściśle monochromatyczne, to przy systematycznem przesuwaniu w jedną stronę płytki interferometru otrzymywałoby się krzywą wychyleń regularną, sinusoidalną o jednakowych odstępach maximów i minimów. Krzywa, otrzymana w doświadczeniu, miała charakter bardziej zawiły; wynikało z niej, że badane promieniowanie, co zre-

sztą zgóry było prawdopodobne, stanowiło mieszaninę fal o różnej długości, — od 50 mm. do 0.1 mm.

Promieniowanie, wytworzone przez uczoną rosyjską, zachodzi zatem bardziej wgłąb podczerwieni, niż krótkie fale Nicholsa i Teara. Tym sposobem możemy obecnie realizować pewne długości fali bądź metodą czysto elektryczną, bądź metodą emisji optycznej, co stanowi zdobycz nauki, która doniedawna zarysowywała się tylko jako cel idealny. Niezadawalającem jest narazie to, że nie udaje się jeszcze otrzymywać najkrótszych fal Hertza, jako promieniowania monochromatycznego, co pozwoliłoby szczegółowo zbadać przejście od fal elektrycznych do podczerwieni.

---

## Rozdział XVII.

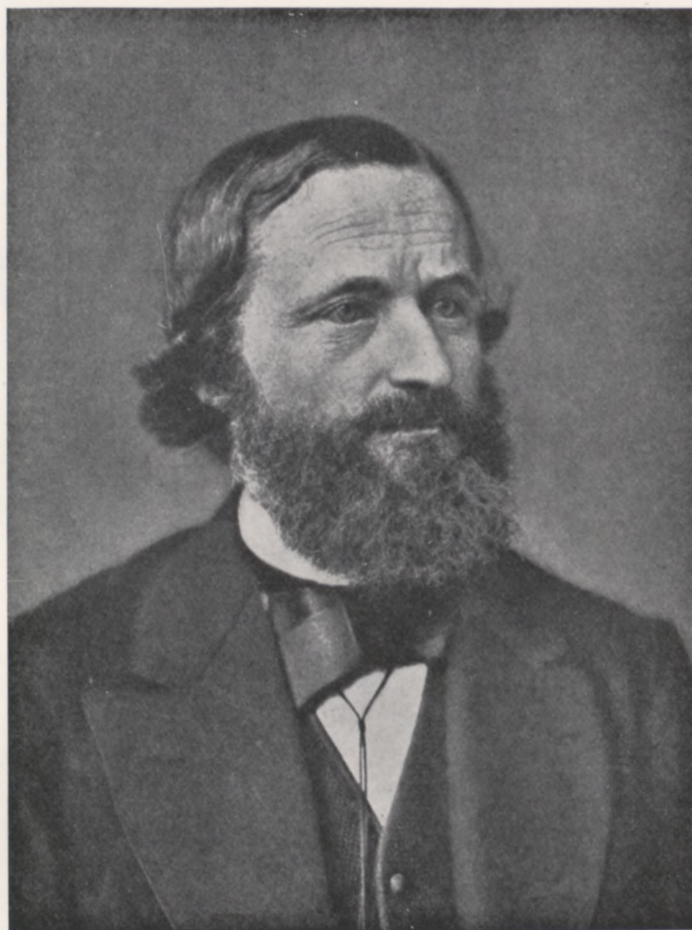
### GUSTAW KIRCHHOFF I ROBERT BUNSEN.

W ROKU 1859 dokonali Kirchhoff i Bunsen, dwaj profesorowie uniwersytetu Heidelberskiego, wiekopomnego odkrycia metody analizy widmowej. Nie byli oni pierwszymi oberwatorami widm linjowych, lecz pierwsi pokazali drogę systematycznego, konsekwentnego stosowania badań nad składem światła do poznawania gatunków materji. Nie wiele jest narzędzi naukowych, któreby tak dalece rozszerzyły granice poznania ludzkiego, jak spektroskop.

Kirchhoff'a i Bunsen'a znamy głównie, jako twórców spektroskopji. Nie małe jednak były i inne ich zasługi naukowe. Kirchhoff (1824 — 1887) dał szereg doniosłych rozpraw z dziedziny fizyki matematycznej. Na gruncie badań teoretycznych doszedł do swych znanych praw, dotyczących rozgałęzienia prądów. W związku z odkryciem analizy widmowej znalazł też słynne prawo o proporcjonalności pomiędzy zdolnością emisyjną i absorbcyjną.

Na to prawo naprowadziło go spostrzeżenie przypadkowe. Ustawiwszy na drodze promieni płomień spirytusowy, zabarwiony sodem, zauważył silniejsze uwydatnienie się linij czarnych. Miał on wówczas opuścić pracownię, dla zastanowienia się na tym faktem, ze słowami „zdaje mi się, że to jest sprawa zasadnicza" („das scheint mir eine fundamentale Geschichte"). Na drugi dzień miał już w swem ręku klucz do wytłumaczenia linij Fraunhofer'a w widmie słonecznem.

Zespół Kirchhoff'a z Bunsen'em był jak najszczęśliwszy. Wielki genjusz eksperymentatorski drugiego uzupełniał subtelne i głębokie rozumowanie pierwszego. Szczególnie celował Bunsen w odnajdywaniu ścisłych metod badania. Z tej strony działalność Bunsen'a jest dobrze znana każdemu: w chemji stworzył on me-



GUSTAW KIRCHHOFF

todę analizy gazów, w fizyce był wynalazcą kalorymetru lodowego, który do dziś nosi jego imię.

Z imieniem Bunsen'a wiążemy również wiele przyrządów laboratoryjnych pierwszej potrzeby; wskażemy np. palnik, tryskawkę, pompki wodne ssące (aspiratory), ogniwa.

We wszystkich dziedzinach wiedzy, których dotykał, pozostawił Bunsen głęboki ślad po sobie; tak, naprzykład, słynne są jego badania nad związkami kakodylowymi w chemji organicznej, on też dał podstawy fotochemji; on w chemji nieorganicznej zasłużył się badaniami nad związkami rubidu i cezu, które to pierwiastki odkrył był zapomocą metody analityczno- widmowej.

Posiadał Bunsen zarazem wybitny talent pedagogiczny. W jego pracowni kształciły się całe zastępy młodych chemików, którzy metody jego szerzyli później w świecie całym. Pozostawał na stanowisku profesora w Heidelbergu do 78 roku życia. Urodzony w roku 1811 zmarł w 1899.

---

## Analiza chemiczna na drodze spostrzeżeń widmowych

PRZEZ G. KIRCHHOFF'A i R. BUNSEN'A [1]).

ROZPRAWA PIERWSZA.

Wiadomo, że pewne substancje mają taką własność, że, gdy je wprowadzić w płomień, wywołują występowanie w jego widmie pewnych linij jasnych. Można oprzeć na tych linjach metodę analizy jakościowej, która znacznie rozszerza dziedzinę reakcyj chemicznych i prowadzi do rozstrzygnięcia problematów dotychczas niedostępnych. Ograniczamy się tu z początku do tego, że rozwijamy tę metodę dla metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych i wyjaśniamy jej wartość na szeregu przykładów.

Wspomniane linje ukazują się tem wyraźniej, im wyższą jest temperatura i im mniejsze jest własne natężenie świetlne płomienia. Lampa gazowa, opisana przez jednego z nas [2]), daje płomień o bardzo wysokiej temperaturze i o bardzo małem natężeniu świetlnem; dla tego też nadaje się ten płomień przedewszystkiem do doświadczeń dotyczących jasnych linij, właściwych pewnym substancjom.

---

[1]) Chemische Analyse durch Spectralbeobachtung von G. Kirchhoff und R. Bunsen. Poggend. Annal., T. 110, s. 161, 1860.

[2]) Poggend. Annal., T. 100, s. 85, 1856.

Na tablicy I-szej[1]) są przedstawione widma, które daje rzeczony płomień, gdy się w nim ulatniają możliwie czysto otrzymane chlorki potasu, sodu, litu, strontu, wapnia, baru. Dla ułatwienia orjentacji dołączono widmo słoneczne.

Związek potasu, używany do doświadczeń, został otrzymany przez przepalenie chloranu potasowego, który uprzednio był przekrystalizowany sześć do ośmiu razy.

Chlorek sodu wytworzyliśmy z czystego węglanu sodowego i kwasu solnego i również czyściliśmy go przez często powtarzane przekrystalizowywanie. Sól litu była oczyszczona przez czternastokrotne strącenie zapomocą węglanu amonowego.

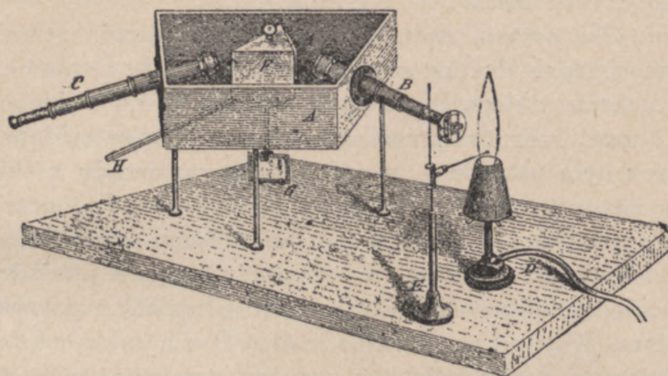
Z taką samą starannością przygotowywali autorowie w stanie czystym i inne związki: chlorki wapnia, baru i strontu.

Na rys. 164, str. 507, jest podany obraz przyrządu, którym przeważnie posługiwaliśmy się przy obserwowaniu widm. *A* jest to pudło w środku wyczernione, którego dno ma postać trapezu i które spoczywa na trzech nogach; dwie ukośne ściany boczne pudła, które tworzą ze sobą kąt około 58$^0$, niosą dwie małe lunetki *B* i *C*. Soczewki okularowe pierwszej są usunięte i zastąpione przez płytkę, w której znajduje się szpara utworzona z dwu ostrzy mosiężnych; jest ona umieszczona w ognisku objektywu. Przed szparą stoi lampa *D* tak, że oś rury *B* napotyka brzeg jej płomienia. Cokolwiek poniżej miejsca, gdzie oś spotyka brzeg płomienia, wchodzi weń koniec bardzo cienkiego drutu platynowego, wygięty w uszko; podstawka *E* podtrzymuje drut; do uszka z drutu jest przytopiona perełka badanego związku chlorowego, po uprzedniem usunięciu wody. Pomiędzy objektywami lunet *B* i *C* stoi pryzmat *F* o kącie łamiącym równym 60$^0$, napełniony siarczkiem węgla. Pryzmat spoczywa na płytce mosiężnej, która daje się obracać około osi pionowej. Ta oś niesie na swym dolnym końcu zwierciadło *G* i nad niem ramię *H*, które służy za rączkę przy obracaniu pryzmatu i zwierciadła. Na zwierciadło jest skierowana mała lunetka, która oku, przez nią patrzącemu, pokazuje obraz odbity skali poziomej, ustawionej w niewielkiej odległości. Zapomocą obracania pryzmatu można przesunąć całe widmo koło pionowej nici lunety *C* i każde miejsce w widmie doprowadzić do zakrycia przez tę nitkę. Każdemu miejscu widma odpowiada pewne

---

[1]) Uważając widma metali alkalicznych i ziem alkalicznych za powszechnie znane, pominęliśmy tablicę, o której mowa w tekście. *(Tł.)*.

odczytanie na skali. Jeżeli światło widma jest słabe, to nić lunety oświetla się zapomocą soczewki, która część promieni wychodzących z lampy rzuca przez mały otwór, zrobiony z boku w rurce okularu lunety *C*.




Rys. 164.

Widma przedstawione na tabl. I, a wytworzone zapomocą wyżej wspomnianych czystych chlorków, porównywaliśmy z widmami, które się otrzymuje, kiedy się wprowadza bromki, jodki, wodorotlenki, siarczany i węglany odpowiednich metali w następujące płomienie:

w płomień siarki,
" " siarczku węgla,
" " alkoholu wodnego,
" " nieświecący gazu świetlnego
" " tlenku węglowego,
" " wodoru i
" " gazu piorunującego.

W tych badaniach szeroko ujmujących przedmiot a zarazem zabierających dużo czasu, których szczegóły, jak sądzimy, możemy pominąć, okazało się, że różnorodność związków, w których metale były używane, rozmaitość procesów chemicznych w płomieniach poszczególnych i olbrzymie różnice temperatur tych ostatnich nie wywierają żadnego wpływu na pozycję linij widmowych, odpowiadających poszczególnym metalom[1]).

---

[1]) Udało się późniejszym badaczom wykazać doświadczalnie, że, prócz widm samych metali, istnieją też i widma związków, wysyłane przez niezdyssocjowane molekuły; do wytwarzania tych widm potrzebne są specjalne warunki. *(Tł.)*.

Aby otrzymać dalszy dowód na to, że każdy z pomiędzy kilkakrotnie wspomnianych metali zawsze wywołuje w widmie powstawanie tych samych linij jasnych, porównaliśmy narysowane widma z temi widmami, które daje iskra elektryczna, przeskakująca pomiędzy elektrodami z tych metali.

Małe kawałki potasu, sodu, litu, strontu i wapnia zostały przywiązane do cienkich drutów platynowych i zostały parami tak zatopione w rurkach szklanych, że były oddzielone od siebie odstępem od 1 do 2 mm., i druty przenikały przez ściankę szklaną. Każda z tych rurek była ustawiona przed szparą przyrządu spektralnego; zapomocą aparatu indukcyjnego R u h m k o r f f'a przepuszczaliśmy iskry pomiędzy wspomnianemi kawałkami metali i porównywaliśmy ich widma z widmem płomienia gazowego, w który był wprowadzony chlorek odpowiedniego metalu. Płomień znajdował się za rurką szklaną. Kolejno wprawiając aparat R u h m k o r f f'a w ruch i zatrzymując go, łatwo było bez pomiaru przekonać się stanowczo o tem, że w błyszczącem widmie iskry znajdowały się nieprzesunięte jasne linje widma płomienia. Oprócz nich występowały w widmie iskrowem jeszcze inne jasne linje, z których jedna część musi być przypisana obecności w elektrodach metali obcych, druga część — azotowi, który wypełniał rurki, gdy tlen połączył się z częścią elektrod.

Wydaje się na podstawie tego niewątpliwem, że jasne linje wskazanych widm mogą być uważane za pewne oznaki obecności danych metali. Mogą one służyć za reakcję, zapomocą której te substancje dają się wykazać jaśniej, prędzej i w ilościach mniejszych, niż zapomocą jakiegokolwiek innego środka analitycznego.

Podane obrazy widm dotyczą przypadku, kiedy szpara jest tak szeroka, że z pomiędzy ciemnych linij widma słonecznego tylko najwyraźniejsze są dostrzegalne, kiedy powiększenie lunety obserwacyjnej jest małe (mniej więcej czterokrotnie) a natężenie światła umiarkowane. Te warunki wydają się nam najkorzystniejszemi, gdy chodzi o to, aby wykonać analizę chemiczną zapomocą obserwacyj widmowych. W innych warunkach wygląd może być zasadniczo różny. Jeżeli powiększymy czystość widma, to wiele z pomiędzy linij narysowanych pojedyńczo rozpada się na linij kilka, naprzykład linja sodu — na dwie.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

A teraz mają być bliżej omówione odrębne własności widm poszczególnych, których znajomość jest ważna pod względem praktycznym, i mają być wykazane korzyści, które daje oparta na nich metoda analizy chemicznej.

## Sód.

Ze wszystkich reakcyj widmowych reakcja na sód jest najczulsza. Żółta linja $Na\alpha$, jedyna, którą okazuje widmo sodu, zbiega się z linją $D$ Fraunhofer'a i odznacza się swemi szczególnie ostremi granicami i swoją nadzwyczajną jasnością. Jeżeli temperatura płomienia jest bardzo wysoka, a ilość użytej substancji bardzo wielka, to w najbliższej okolicy linji ukazują się ślady widma ciągłego. Samo przez się słabe linje innych ciał, przypadające w pobliżu niej, wydają się wtedy jeszcze bardziej osłabionemi i dlatego często dopiero wówczas stają się widoczne, kiedy reakcja na sód zaczyna ugasać.

W tlenkach, chlorkach, jodkach i bromkach, siarczanach i węglanach ukazuje się reakcja najwyraźniej. Jednak nie brak jej nawet w krzemianach, boranach, fosforanach i innych solach, wytrzymujących działanie ognia.

Już Swan[1]) zwrócił uwagę na to, jak mała ilość soli kuchennej może jeszcze wyraźnie wywołać linję sodu. Następujące doświadczenie pokazuje, że chemja nie może wskazać ani jednej reakcji, któraby choć w przybliżeniu dała się porównać pod względem czułości z tem analityczno - widmowem wykrywaniem sodu. W pokoju do obserwacyj, który zawierał mniej więcej 60 m.$^3$ powietrza, w rogu, możliwie oddalonym od miejsca ustawienia przyrządu, wywołaliśmy mały wybuch 3 miligramów chloranu sodowego z cukrem mlekowym, gdy jednocześnie obserwowano nieświecącą lampę, umieszczoną przed szparą. Już po niewielu minutach płomień, stopniowo zabarwiający się na słaby kolor żółty, dał mocną linję sodu, która znikła znów zupełnie dopiero po 10 minutach. Z wagi soli użytej i z wagi powietrza zawartego w pokoju łatwo można obliczyć, że w jednej części wagowej powietrza nie mogła być zawarta nawet $\frac{1}{20000000}$ część wagowa dymu sodowego. Ponieważ reakcję z całą dogodnością można oglądać w ciągu jednej sekundy, a w ciągu tego czasu, sądząc z dopływu i składu gazów płomienia, rozżarza się w nim około 50 cm.$^3$ czyli 0,0647 gr. powietrza, które zawierają mniej niż $\frac{1}{20000000}$ część soli sodowej, wynika więc stąd, że oko może rozpoznać jak najwyraźniej jeszcze mniej, niż $\frac{1}{3000000}$ mg. soli sodowej. Przy takiej czułości reakcji staje się zrozumiałem, że w rozżarzonem powie-

[1]) Poggend. Ann., T. 100, s. 311.

trzu atmosferycznem rzadko brak wyraźnej reakcji na sód. Ziemia więcej, niż w dwu trzecich swej powierzchni jest pokryta roztworem soli, który nieustannie zamienia się w pył wodny pod wpływem spienionych i przewalających się fal morskich. Kropelki wody morskiej, które w ten sposób dostają się do atmosfery, parują i pozostawiają pyłki, zawierające sól kuchenną.

Następne rozdziały zawierają szczegółowy opis widm metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych; autorowie wskazują zarazem sposoby, pozwalające wykrywać te pierwiastki przy ich wspólnem występowaniu. W końcu rozprawy zwrócona jest uwaga na doniosłość nowej metody dla odkrywania nowych ciał i dla badań astronomicznych.

Dla wykrycia dotąd nieznalezionych pierwiastków powinnaby analiza widmowa zdobyć niemniej ważne znaczenie. Gdyż, jeżeli istnieją ciała, które w naturze są tak skąpo rozpowszechnione, iż dotychczasowe środki analizy pozostawiają nas bezsilnymi w ich rozpoznaniu i oddzieleniu, to wolno będzie się spodziewać rozpoznania i określenia wielu z pomiędzy ciał takich, które na drodze zwykłej usuwają się z pod jakiegokolwiek dostrzegania chemicznego, zapomocą prostej obserwacji widm ich płomieni. Że naprawdę istnieją takie dotąd nieznane pierwiastki, o tem mieliśmy już sposobność przekonać się. Opierając się na niewątpliwych wynikach metody analityczno - widmowej, mniemamy, że już teraz możemy twierdzić z całą pewnością, że obok potasu, sodu i litu istnieje jeszcze czwarty metal, należący do grupy alkalicznej, który daje widmo również charakterystyczne i proste, jak i lit, — metal, który przy użyciu naszego aparatu widmowego pokazuje tylko dwie linje: niebieską, która zlewa się prawie z linją strontu $Sr\delta$, i drugą niebieską, która leży tylko cokolwiek dalej ku fiołkowemu końcowi widma, a pod względem natężenia i ostrości brzegów współzawodniczy z linją litu [1]).

Jeżeli analiza widmowa daje (mniemamy, żeśmy tego dowiedli) zadziwiająco prosty środek wykrywania najmniejszych śladów pewnych pierwiastków w ciałach ziemskich, to z drugiej strony otwiera ona badaniu chemicznemu dziedzinę dotąd zupełnie zamkniętą, która sięga daleko poza granicę ziemi, a nawet — naszego układu słonecznego. Ponieważ w metodzie analitycznej, o której mowa, wystarcza widzieć gaz rozżarzony, o którego analizę chodzi, więc nasuwa

---

[1]) Kirchhoff i Bunsen wykryli na drodze analizy widmowej dwa metale: rubid i cez. Metoda analizy widmowej pozwoliła odkryć w czasach późniejszych pierwiastki następujące: tal, ind, gal, argon, hel, neon, krypton, ksenon. *(Tł.)*.

się myśl, iż ta sama metoda da się również zastosować do atmosfery słońca i jaśniejszych gwiazd stałych. Wymaga ona tu jednak modyfikacji wskutek światła, które wysyłają jądra tych ciał niebieskich. W rozprawie swej „O stosunku pomiędzy zdolnością emisyjną i absorbcyjną ciał dla ciepła i światła"[1]) jeden z nas dowiódł zapomocą rozważań teoretycznych, że widmo gazu rozżarzonego zostaje odwrócone, t. j. że linje jasne przemianiają się w ciemne, jeżeli za gazem umieścimy źródło światła o dostatecznej intensywności, które samo przez się daje widmo ciągłe. Daje się stąd wywnioskować, że wdmo słoneczne ze swemi linjami ciemnemi nie jest niczem innem, jeno odwróceniem widma, któreby pokazała sama przez się atmosfera słońca. Podług powyższego, analiza chemiczna atmosfery słońca wymaga tylko odszukania tych substancyj, które, wprowadzone w płomień, ukazują jasne linje, zbiegające się z ciemnemi linjami widma słonecznego.

W cytowanem miejscu podane są następujące doświadczenia, jako dowody doświadczalne wspomnianego, a teoretycznie wyprowadzonego twierdzenia.

Jasna linja czerwona w widmie płomienia gazowego, w który jest wprowadzona perła chlorku litowego, przemienia się w czarną, kiedy się przepuszcza przez płomień pełne światło słoneczne. Jeżeli zastąpić perłę chlorku litowego przez perłę chlorku sodowego, to w widmie słonecznem ukazuje się niezwykle wyraźnie ciemna linja podwójna *D* (która zbiega się z jasną linją sodu).

W widmie światła Drummond'a występuje ciemna linja podwójna *D*, kiedy się jego promienie przepuszcza przez płomień rozwodnionego alkoholu, w który wprowadzono chlorek sodu[2]).

Wydawało się nam rzeczą interesującą otrzymać jeszcze więcej

---

[1]) Kirchhoff *(uw. tł.)*.

[2]) W numerze marcowym Phil. Mag. z roku 1860 przypomina Stokes, że Foucault już w roku 1849 dokonał spostrzeżenia, podobnego do wyżej wspomnianego. Przy badaniu łuku elektrycznego pomiędzy końcówkami węglowemi zauważył on (l'Institut 1849, str. 45), że w widmie tegoż znajdują się jasne linje na miejscu podwójnej linji *D* światła słonecznego i że łuk wzmacnia ciemną linję *D* lub też wytwarza ją, kiedy się przezeń przepuszcza światło słoneczne lub światło rozżarzonej końcówki węglowej, a — potem to światło rozszczepia w widmo. Spostrzeżenie, wspomniane w tekście, daje objaśnienie tego interesującego, już przed 11 laty przez Foucault'a dostrzeżonego zjawiska, i pokazuje, że zjawisko to nie jest uwarunkowane przez własności tak jeszcze zagadkowego pod wielu względami światła elektrycznego lecz — pochodzi od związku sodowego, który był zawarty w węglu i przez prąd był zamieniony na parę.

potwierdzeń tego godnego uwagi wywodu teoretycznego. Udało się nam to zapomocą doświadczeń, które teraz opiszemy.

Rozżarzyliśmy w płomieniu gruby drut platynowy i doprowadziliśmy go zapomocą prądu elektrycznego prawie do punktu topnienia. Drut dał świetne widmo bez jakiegokolwiek śladu jasnych lub ciemnych linij. Kiedyśmy umieścili pomiędzy drutem a szparą przyrządu płomień bardzo rozwodnionego alkoholu, w którym była rozpuszczona sól kuchenna, to ciemna linja *D* ukazała się nader wyraźnie.

W widmie drutu platynowego, który został rozżarzony tylko zapomocą płomienia, można wywołać ciemną linję *D*, jeżeli trzymać przed nim probówkę, na dnie której umieszczono nieco amalgamatu sodowego i ten ogrzano aż do wrzenia. To doświadczenie jest dlatego ważne, iż pokazuje ono, że znacznie poniżej temperatury żaru wywiera para sodu swe działanie absorbcyjne dokładnie w tem samem miejscu widma, jak i w temperaturach najwyższych, które możemy wytworzyć, a zarówno w temperaturach, które mają miejsce w atmosferze słonecznej.

Autorom udało się również odwrócić jaśniejsze linje potasu, strontu, wapnia i baru.

Heidelberg, w kwietniu 1860 r.

---

## Rozdział XVIII.

### Krótkofalowe widma pierwiastków,

PRZEZ H. G. J. MOSELEY'A[1]).

DOTYCHCZAS opisywano charakterystyczne typy promieni *X*, które wysyła atom odpowiednio pobudzony, wyrażając stopień ich pochłaniania przez glin[2]), gdyż nie rozporządzano wcale metodą analizy widmowej. Zjawiska interferencji, które okazują promienie Röntgena, gdy są rozpraszane przez kryształ, uczyniły jednak obecnie możliwem dokładne wyznaczenie częstości drgań różnych typów promieniowania. Wykazali to W. H. i W. L. Bragg'owie[3]), którzy tą metodą zanalizowali widmo linjowe, wysyłane przez antykatodę platynową rury Röntgenowskiej. C. G. Darwin i autor[4]) rozszerzyli tę analizę i zbadali również widmo ciągłe, które w tym przypadku stanowi większą część promieniowania. Niedawno prof. Bragg[5]) wyznaczył również długości fal najsilniejszych linij w widmach niklu, wolframu i rodu. Jednak dotychczas stosowane metody elektryczne zapewniają powodzenie tylko w tym przypadku, kiedy się rozporządza stałem źródłem promieniowania. Niniejszy artykuł zawiera opis metody, pozwalającej fotografować te widma; czyni ona analizowanie promieni *X* również łatwem, jak analizowanie promieni w innych dziedzinach spektroskopji. Jest zamiarem autora dać z początku ogólny przegląd głównych typów promieniowania o wielkiej częstości, a następnie rozpatrzyć widma nielicznych pier-

---

[1]) W dosłownem tłumaczeniu tytuł powinienby brzmieć: „Widma o dużej częstości drgań, wysyłane przez pierwiastki". — The High-Frequency Spectra of the Elements. By H. G. J. Moseley, M. A. Philosophical Magazine, r. 1913, t. 26, s. 1024. Krótki życiorys Moseley'a został podany na str. 462.

[2]) Patrz Barkla. Phil. Mag. XXII, s. 396 (1911).

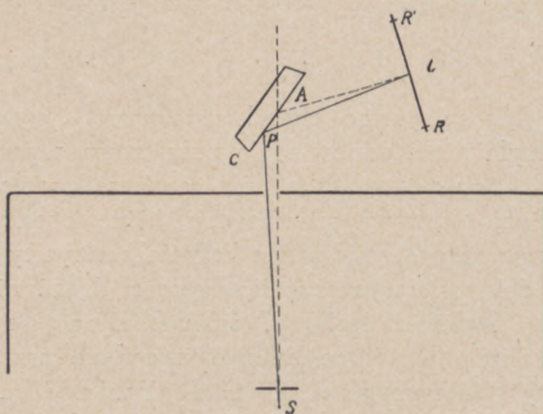
[3]) Proc. Roy. Soc. A. LXXXVIII, s. 428 (1913).

[4]) Phil. Mag. XXVI, s. 210 (1913).

[5]) Proc. Roy. Soc. A. LXXXIX, s. 246 (1913).

wiastków szczegółowiej i ściślej. Wyniki już otrzymane pokazują, że te dane mają ważne znaczenie dla sprawy wewnętrznej struktury atomu i silnie podtrzymują poglądy Rutherforda[1]) i Bohra[2]).

Kaye[3]) wykazał, że pierwiastek, pobudzony potokiem dostatecznie prędkich promieni katodowych, wysyła swe charakterystyczne promienie *X*. Używał on w charakterze antykatody pewnej liczby substancyj, które zamocowywał wewnątrz rurki próżniowej na ruchomym wózku. Pomysłowe urządzenie magnetyczne pozwalało wpro-




Rys. 165.

wadzać po kolei na linję ognia każdą antykatodę. Zmodyfikowano ten aparat do celów niniejszej pracy. Prąd katodowy koncentrowano na małej powierzchni badanej antykatody, a płytkę platynową, zaopatrzoną w cienką pionową szparę, umieszczano bezpośrednio przed częścią bombardowaną. Rurę opróżniano zapomocą pompy rtęciowej Gaedego, czasem też stosowano węgiel drzewny i powietrze ciekłe, aby usunąć parę wodną. Promienie *X*, przeszedłszy przez szparę, oznaczoną na rys. 165 przez *S*, przedostawały się nazewnątrz poprzez okienko aluminjowe grubości 0,02 mm. Pozostałą część promieniowania odcinało pudło ołowiane, w którem była umieszczona rura. Promienie padały na powierzchnię łupliwości *C* kryształu żelazocyanku potasowego, który był umocowany na stoliku

---

[1]) Phil. Mag. XXI, s. 669 (1911).
[2]) Phil. Mag. XXVI, s. 1, 476 i 857 (1913).
[3]) Phil. Trans. Roy. Soc. A., CCIX, s. 123 (1909).

spektrometru. Powierzchnia kryształu była pionowa; oś geometryczna spektrometru przechodziła przez nią.

Wiadomo obecnie[1]), że promienie $X$ zawierają naogół dwa składniki różnego typu: promieniowanie niejednorodne i promieniowanie charakterystyczne określonej częstości. Pierwsze ulega odbiciu od takiej powierzchni pod wszelkiemi kątami; jednak przy dużych kątach, stosowanych w pracy niniejszej, promienie odbite tej kategorji posiadają nader słabą intensywność. Z drugiej strony promienie określonych częstości odbijają się tylko, gdy uderzają o powierzchnię pod określonemi kątami. Kąt połysku $\Theta$, długość fali i „stała siatki" krystalicznej $d$ są ze sobą związane zależnością[2]):

$$n\lambda = 2d \sin\Theta, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

gdzie liczbę całkowitą $n$ można nazwać „rzędem" odbicia. Kryształ tu użyty był doskonałym okazem o powierzchni 6 cm.$^2$; wiadomo było, że daje silne odbicia w pierwszych trzech rzędach, przyczem widmo trzeciego rzędu było najsilniejsze.

Dalej autor podaje szczegóły wykonania pomiarów, które tu pomijamy.

Zbadano dotychczas dwanaście pierwiastków. Z nich dziesięć, umieszczonych w tablicy I-szej, wybrano tak, by tworzyły ciągły szereg, posiadający tylko jedną lukę. Spodziewano się, że tym sposobem ujawnią się wszelkie związki, wynikające z układu pierwiastków. Włączenie niklu budziło specjalne zainteresowanie ze względu na jego anomalną pozycję[3]) w układzie perjodycznym. Promieniowanie tych substancyj łatwo wzbudzić, a duże kąty odbicia pozwalają łatwo dokonać pomiarów długości fali z dobrą dokładnością. Tylko wapń spowodował pewne kłopoty. W tym przypadku ze względu na wysoki spółczynnik absorbcji głównego promieniowania (około 1200 cm.$^{-1}$ glinu) okienko rury Röntgenowskiej pokryto skórą, używaną przy wybijaniu folji złotej, a powietrze pomiędzy kryształem a kliszą fotograficzną zastąpiono wodorem. Warstwa wapna, która pokrywała powierzchnię metalu, wydzieliła taką ilość gazu, że promienie $X$ można było wzbudzać tylko na przeciąg jednej, dwu se-

---

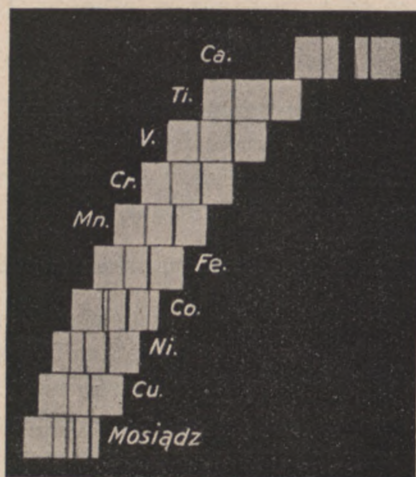
[1]) Moseley i Darwin, loc. cit.

[2]) P. str. 458 niniejszej książki.

[3]) *(Tł.)*. W tablicy układu perjodycznego (s. 465) kobalt o ciężarze atomowym 58.94 znajduje się przed niklem, którego ciężar at. = 58.69. Gdyby ciężar atomowy stanowił główne kryterjum, porządek tych dwu pierwiastków powinienby być odwrotny.

kund. Cynk zastąpiono mosiądzem, by uniknąć ulatniania się wskutek intensywnego gorąca, wytwarzanego w punkcie, na który padały promienie katodowe. Ferro-wanad (35% $V$) i ferro-tytan (23% $Ti$), które zawdzięczam Międzynarodowemu Towarzystwu Wanadowemu, jak się okazało, skutecznie mogły zastąpić czyste pierwiastki, które niełatwo otrzymać w stanie stałym.

Rys. 166 pokazuje widma trzeciego rzędu, ustawione w przybliżeniu według określonej skali. Części zdjęć fotograficznych, które odpowiadają danemu kątowi, zostały umieszczone na tej samej linji




Rys. 166.

pionowej. Rzeczywiste wartości kątów można znaleźć w tablicy I-szej (str. 517). Widać, że widmo każdego z pierwiastków składa się z dwu linij [1]). Z nich silniejszą nazwano w tablicy $\alpha$, słabszą zaś — $\beta$. Poza $\alpha$ i $\beta$, linje, znalezione na któremkolwiek ze zdjęć, napewno prawie należą wszystkie do zanieczyszczeń. Tak widmo kobaltu, zarówno w trzecim, jak i w drugim rzędzie, wykazuje $Ni\alpha$ bardzo silnie i $Fe\alpha$ słabo. W trzecim rzędzie widmo niklu wykazuje słabo $Mn\alpha_2$ [2]). Widma mosiądzu wykazują, naturalnie, linje $\alpha$ i $\beta$ tak miedzi, jak i cynku, lecz $Zn\beta_2$ nie otrzymano jeszcze. Widma ferro-wanadu i ferro-ty-

---

[1]) Posługując się udoskonalonemi przyrządami, zdołano rozdzielić później każdą z tych linij na dwie bliskie siebie. *(Tł.)*.

[2]) Dolnemi indeksami oznacza Moseley rząd widma. *(Tł.)*.

tanu w drugim rzędzie okazują bardzo intensywne linje *Fe* trzeciego rzędu, a pierwsze z tych ciał wykazuje również słabo $Cu\alpha_3$. Kobalt zawierał nikiel i 0.8°/₀ żelaza, nikiel — 2.2°/₀ manganu i wanad — tylko ślad *Cu*. Innych linij nie znaleziono; lecz poszukiwań nowych długości fali na szerszą skalę dokonano tylko w przypadku jednego, dwu pierwiastków; być może, iż długotrwałe ekspozycje, których jeszcze nie próbowano, wykażą istnienie bardziej skomplikowanych widm. Wyraźne występowanie linij, należących do zanieczyszczeń, nasuwa myśl, że ta metoda może się stać potężnym środkiem analizy chemicznej. Jej przewaga nad zwykłą spektroskopją polega na pro-

TABLICA I.

| Pierwiastek | linja | $\Theta_3$ | $\lambda$ cm | $\lambda_\alpha/\lambda_\beta$ | $Q=\sqrt{\frac{\nu}{3/4\,\nu_0}}$ | *N* liczba atomowa | Ciężar atomowy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wapń . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 36 7°<br>33.3 | $3.368 \times 10^{-8}$<br>3.094 | 1.089 | 19.0 | 20 | 40.09 |
| Skand . . | — | — | — | — | — | 21 | 44 1 |
| Tytan . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 29.3<br>26.6 | 2.758<br>2.524 | 1.093 | 20.99 | 22 | 48.1 |
| Wanad . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 26.55<br>24.05 | 2.519<br>2.297 | 1 097 | 21.96 | 23 | 51.06 |
| Chrom . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 24.1<br>21.8 | 2.301<br>2.093 | 1.100 | 22.98 | 24 | 52.0 |
| Mangan . | $\alpha$<br>$\beta$ | 22.0<br>19.9 | 2.111<br>1.918 | 1.101 | 23.99 | 25 | 54.93 |
| Żelazo . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 20.2<br>18.25 | 1.946<br>1.765 | 1.103 | 24.99 | 26 | 55.85 |
| Kobalt . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 18 6<br>16.8 | 1.798<br>1.629 | 1.104 | 26.00 | 27 | 58.97 |
| Nikiel . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 17.15<br>15.5 | 1.662<br>1.506 | 1.104 | 27.04 | 28 | 58.68 |
| Miedź . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 15.95<br>14.4 | 1.549<br>1.402 | 1.105 | 28.01 | 29 | 63.57 |
| Cynk . . | $\alpha$<br>$\beta$ | 14.85<br>13.4 | 1.445<br>1 306 | 1.106 | 29.01 | 30 | 65.37 |

stocie widm i na niemożności maskowania promieniowania jednej substancji przez inną. Może ona nawet prowadzić do wykrycia pierwiastków, których brak w układzie perjodycznym, gdyż można będzie przewidzieć pozycję linij charakterystycznych [1]).

Widać z tablicy I-szej, że długości fal, obliczone na podstawie obserwacyj w widmach dwu rzędów, dobrze się zgadzają ze sobą [2]). Widmo trzeciego rzędu daje silniejsze odbicie; ponieważ kąty, z któremi się ma do czynienia, są w tym przypadku większe, więc i dokładność — lepsza. Na podobieństwo różnych widm wskazuje fakt, że nietylko pozostaje w przybliżeniu stałem względne natężenie dwu linij $\alpha$ i $\beta$, lecz również — i stosunek długości fal. Jednak częstość drgań $\beta$ rośnie nieco szybciej, niż częstość drgań $\alpha$. Te same dwie linje — silna $\alpha$ i słaba $\beta$ stanowią widmo rodu, zbadane przez Bragg'a...

— — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Rozważymy teraz znaczenie długości fal, znalezionych dla głównej linji widmowej $\alpha$. W tablicy I-szej podane są cyfry, odpowiadające wielkości

$$Q = \sqrt{\frac{\nu}{\frac{3}{4}\cdot\nu_0}},$$

gdzie $\nu$ oznacza częstość drgań promieniowania $\alpha$, zaś $\nu_0$ — podstawową częstość drgań zwykłych widm linjowych. Tę ostatnią otrzymuje się z Rydberga liczby fal $N_0 = \frac{\nu_0}{c} = 109720$ [3]). Powód, dla którego wprowadzamy tę właśnie stałą, podamy później. Jest rzeczą odrazu widoczną, że $Q$ wzrasta o stałą wielkość, gdy się przechodzi od danego pierwiastka do następnego, opierając się na uporządkowaniu chemicznem pierwiastków w układzie perjodycznym. Za wyjątkiem niklu i kobaltu [4]) jest to również porządek ciężarów

---

[1]) Istotnie wykryto tym sposobem szereg nowych pierwiastków chemicznych (Patrz str. 468, *Tł.*).

[2]) W tablicy, przedrukowanej powyżej, pominięto liczby, dotyczące pomiarów w widmie drugiego rzędu, którym autor przypisuje mniejszą wagę. *(Tł.)*.

[3]) *(Tł.)*. Wiadomość bliższą o stałej Rydberga znajdzie czytelnik w dziale, poświęconym serjom widmowym. Stała Rydberga jest odwrotnością pewnej długości fali $\lambda_0$. Zasadniczy wzór teorji fal mówi, że

$$\frac{1}{\lambda_0} = \frac{\nu_0}{c}.$$

[4]) Barkla, Phil. Mag., XIV, s. 408 (1907).

atomowych. Gdy jednak $Q$ rośnie jednostajnie, ciężary atomowe zmieniają się, jak widać, w sposób dowolny tak, że zakłócenie ich porządku nie jest dla nas czemś niespodziewanem. Mamy tu dowód, że atom posiada wielkość zasadniczą, która wzrasta regularnie w jednakim stopniu, gdy się przechodzi od danego pierwiastka do najbliższego. Tą wielkością może być tylko ładunek centralnego jądra dodatniego, którego istnienie wykazano już dowodnie. Rutherford znalazł na podstawie wielkości rozpraszania cząsteczek $\alpha$ przez materję, że jądro niesie ładunek w przybliżeniu równy ładunkowi $A/2$ elektronów, gdzie $A$ oznacza ciężar atomowy. Barkla na podstawie rozpraszania promieni $X$ przez materję wykazał, że liczba elektronów w atomie, zgruba biorąc, równa się $A/2$, co dla atomu elektrycznie obojętnego wychodzi na to samo, co i w badaniach Rutherforda. Ciężary atomowe znów wzrastają za każdym razem przeciętnie o 2 jednostki; okoliczność ta wysuwa poważny argument na rzecz poglądu, że $N$ od atomu do atomu zawsze rośnie o pojedyńczą jednostkę elektronową. Eksperyment zatem prowadzi do mniemania, że $N$ jest tem samem, co numer miejsca, zajmowanego przez pierwiastek w układzie perjodycznym. Ten numer atomowy równa się 1 dla *H*, 2 dla *He*, 3 dla *Li*..., 20 dla *Ca*..., 30 dla *Zn*, i t. d. Teorja ta została zapoczątkowana przez Broek'a[1]), a potem była stosowana przez Bohra[2]). Możemy z całą ufnością przepowiedzieć, że w tych nielicznych przypadkach, kiedy porządek ciężarów atomowych $A$ jest sprzeczny z uporządkowaniem układu perjodycznego na podstawie własności chemicznych, własnościami chemicznemi rządzi liczba $N$; samo $A$ natomiast jest prawdopodobnie skomplikowaną funkcją $N$. Bardzo bliskie podobieństwo pomiędzy widmami promieni $X$ różnych pierwiastków pokazuje, że te promieniowania powstają wewnątrz atomu i nie mają bezpośredniego związku ze skomplikowanemi widmami światła widzialnego i własnościami chemicznemi, któremi rządzi struktura powierzchni atomu.

W zakończeniu pracy daje Moseley próbę teoretycznego wyjaśnienia faktu, że wielkość $Q$ (p. tabl. I) wzrasta niemal równomiernie przy przejściu od pierwiastka do pierwiastka. Interesujące rozważania Moseley'a nie utrzymały się jednak w nauce.

---

[1]) Phys. Zeit. XIV, s. 32 (1913).

[2]) Loc. cit.

## Rozdział XIX.

### O spostrzeżeniach, dotyczących przenikliwego promieniowania, dokonanych w siedmiu podróżach swobodnym balonem [1]).

PRZEZ VICTORA F. HESS'A.

Na początku pracy autor wspomina, że już w swych dwu pierwszych wzniesieniach zapomocą balonu nie mógł zauważyć, nawet na wysokości 1100 m., zmniejszenia strat ładunku, których elektroskop doznawał na powierzchni ziemi.

ZAPOMOGA Cesarskiej Akademji Nauk w Wiedniu pozwoliła mi obecnie wykonać siedem dalszych podróży balonem, przyczem został zdobyty rozleglejszy i pod wieloma względami dalej sięgający materjał obserwacyjny.

Do obserwacji przenikliwego promieniowania służyły w pierwszej linji dwa przyrządy Wulfa, których ścianki miały 3 mm. grubości. Były one zupełnie szczelne i wytrzymywały w zupełności zmiany ciśnienia, zachodzące w podróżach powietrznych.

Urządzenie aparatu Wulfa wyjaśnia rys. 167, s. 521. Zasadniczą część aparatu stanowią cieniutkie nitki kwarcowe *L*, pokryte cienką warstwą metalu. Są one złączone u góry i u dołu; ich odpychanie się wzajemne jest funkcją potencjału. Mikroskop zaopatrzony w skalę na szkle, pozwala mierzyć rozchylenie nitek. Nitki znajdują się wewnątrz dużego naczynia cylindrycznego; oś cylindra jest prostopadła do płaszczyzny rysunku.

Tak w pracy H e s s a, jak i w innych badaniach nad promieniowaniem przenikliwem podaje się zwykle, jako miarę natężenia promieniowania, liczbę jonów, wytwarzaną w ciągu sekundy w objętości jednego centymetra sześciennego. Liczbę tę otrzymuje się w sposób następujący. Nitkom elektrometru (ob. rys. 167) nadaje się tak wysoki potencjał, dajmy na to *dodatni*, że wszystkie jony *ujemne*, wytwarzane w objętości danego naczynia, dobiegają do nitek i ulegają rozbrojeniu w zetknięciu z niemi. Znając pojemność elektrostatycz-

---

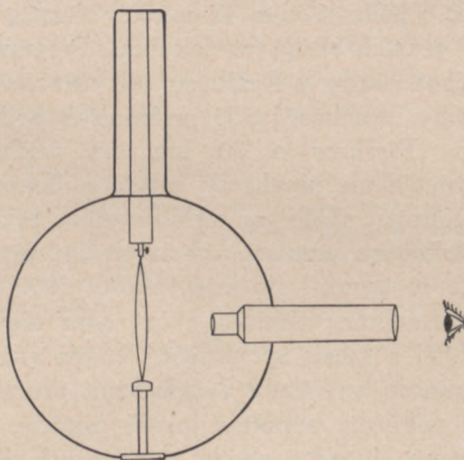
[1]) Victor F. Hess. Ueber Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten. Physikalische Zeitschrift, r. 1912, str. 1084.

ną $C$ nitek i obserwując spadek potencjału $\Delta V$, obliczymy stratę ładunku $\Delta Q$ według wzoru

$$\Delta Q = C \, . \, \Delta V.$$

Zakładając dalej, że każdy jon niesie pojedyńczy ładunek elementarny $e = 4.77 \times 10^{-10}$ j. el. stat. (wobec małej intensywności czynnika jonizującego i niewielkiej liczby jonów, hipoteza ta jest nader prawdopodobna), znajdujemy, że liczba jonów $n = \frac{\Delta Q}{e}$.

Hess używał w obserwacjach tu opisanych trzech przyrządów jonizacyjnych. Pierwszy z nich miał 2039 cm.³ objętości, jego pojemność elektrostatyczna wy-



Rys. 167.
Schemat aparatuWulfa do badania promieniowania kosmicznego

nosiła 1.597 cm. W dolnych warstwach atmosfery spadek napięcia wynosił około 11 wolt na godzinę. Mając na względzie, że $1 \text{ V} = \frac{1}{300}$ j. el. stat., znajdujemy, iż strata ładunku

$$\Delta Q = \frac{11}{300} \times 1.597 \text{ j. el. stat.}$$

Dzieląc znalezioną liczbę przez objętość zbiornika, przez 3600 i przez wartość ładunku elementarnego $= 4.77 \times 10^{-10}$ j. el. stat., otrzymujemy liczbę jonów, powstających w ciągu sekundy w 1 cm.³ zbiornika. Liczba ta wynosi w danym przypadku

$$n = \frac{11 \times 1.597}{300 \times 2039 \times 3600 \times 4.77 \times 10^{-10}} = 16.7$$

Przerobiliśmy ten przykład szczegółowo, żeby wyjaśnić możliwie konkretnie pochodzenie liczb, któremi operują wciąż badacze promieniowania przenikliwego.

Podajemy poniżej tekst oryginalnej pracy Hessa, dotyczący siódmego wzlotu, w którym osiągnięto największą wysokość i zdobyto zupełne przeświadczenie o pochodzeniu kosmicznem promieniowania przenikliwego. Z dwu tablic, jakie zawiera w tym rozdziale oryginał, drukujemy tu tylko liczby, zawarte w drugiej; poprzestajemy na wynikach, otrzymanych aparatami Nr. 1 i Nr. 2.

**Siódma podróż (7-my sierpnia 1912 r.).**

Balon: „Böhmen" (1680 m.$^3$ wodoru). Kierownik: kpt. W. Hoffory. Obserwator-meteorolog: E. Wolf. Obserwacje elektr.-atmosf.: V. F. Hess.

Wznieśliśmy się o godz. 6 min. 12 rano w Aussig nad Elbą. Przelecieliśmy ponad granicą saską w okolicy Peterswalde, Struppen przy Pirnie, Bischofswerdy i Kottbusu. W stronie jeziora Schwielochsee osiągnęliśmy wysokość 5350 metrów. O godz. 12-ej min. 15 wylądowaliśmy w Pieskow o 50 km. na wschód od Berlina. W miejscu wzniesienia nie mogliśmy, niestety, dokonać żadnych obserwacyj przed podróżą. Zato po wylądowaniu, przed opróżnieniem balonu, zostały dokonane pomiary; chciałem się przekonać, czy balon, który dopiero co opuścił się z wysokości 5000 metrów, nie jest pokryty osadem promieniotwórczym i czy sam nie wysyła promieniowania. Jak widać z tabeli spostrzeżeń [1]), nie zauważono pod balonem po wylądowaniu ani śladu zwiększenia promieniowania. Podczas podróży nie mieliśmy zupełnie jasnej pogody. Depressja barometryczna, zbliżająca się od zachodu, uwidoczniła się w postaci zachmurzenia. Podkreślamy jednak z naciskiem, żeśmy się nigdy nie znajdowali w chmurze, a nawet nie przelatywaliśmy w pobliżu chmury, gdyż w czasie, kiedy pojedyncze kłęby chmur wełnistych zajęły cały horyzont, myśmy się już znajdowali na wysokości przeszło 4000 metrów. Kiedyśmy już płynęli na wysokości maksymalnej, znajdowała się ponad nami daleko wyżej położona cienka warstwa obłoków, której dolna granica musiała sięgać co najmniej 6000 metrów. Słońce słabo tylko przeświecało przez nią.

Rozpatrzmy z początku wyniki spostrzeżeń, otrzymane przy użyciu grubościennych aparatów 1-go i 2-go. Przeciętnie na wysokości od 1400 do 2500 metrów natężenie promieniowania miało te same wartości, które się zwykle spotyka na powierzchni ziemi. *Potem jednak, wraz ze wzniesieniem, zaczyna wyraźnie wzrastać promieniowanie, wykazywane przez obydwa aparaty.* — Na wysokości 3600

---

[1]) Tabela ta w książce niniejszej została pominięta. *(Tł.)*.

metrów ponad ziemią otrzymuje się 4—5 jonów więcej [1]), niż na powierzchni ziemi.

— — — — — — — — — — — — — —

*Obydwa przyrządy wykazywały na wysokości maksymalnej* [2]) *o 20 do 24 jonów więcej, aniżeli na powierzchni ziemi.* Przy opadaniu na przeciętnej wysokości 4400 m. znaleziono jeszcze nader wysokie liczby jonów: 28.1, przy użyciu aparatu 1-go, i 22.7 — przy użyciu przyrządu drugiego. Przewyższają one znacznie liczby normalne 12-tu, wzgl. 11-tu jonów. Przy szybkiem opadaniu, które potem nastąpiło (2 metry na sek.), otrzymano na przeciętnej wysokości 1200 m. przy pomocy aparatu 1-go bardzo niską wartość 9.7, gdy aparat drugi wykazywał 11.5. Uważam za rzecz możliwą, że w przyrządzie pierwszym, zaopatrzonym w bardzo grube nici, ich sztywność oddziaływała czasem szkodliwie na regularność pomiarów.

TABELA WARTOŚCI ŚREDNICH.

| Przeciętna wysokość nad powierzchnią ziemi w metrach | Promieniowanie obserwowane w jonach na cm.$^3$ i sek. | |
|---|---|---|
| | Przyrząd 1-szy $Q_1$ | Przyrząd 2-gi $Q_2$ |
| 0 | 16.3 (18) | 11.8 (20) |
| do 200 | 15.4 (13) | 11.1 (12) |
| 200 — 500 | 15.5 (6) | 10.4 (6) |
| 500 — 1000 | 15.6 (3) | 10.3 (4) |
| 1000 — 2000 | 15.9 (7) | 12.1 (8) |
| 2000 — 3000 | 17.3 (1) | 13.3 (1) |
| 3000 — 4000 | 19.8 (1) | 16.5 (1) |
| 4000 — 5200 | 34.4 (2) | 27.2 (2) |

Jak już było wyżej powiedziane, wyniki, otrzymane po wylądowaniu, pod napełnionym jeszcze balonem, były zupełnie normalne.

Aby unaocznić zmiany promieniowania przenikliwego wraz z wysokością, ujawniające się w wartościach przeciętnych, dokonałem w powyższej tabeli zestawienia wszystkich 88 obserwacyj, dokonanych przeze mnie w balonie, podporządkowując je stopniom wzniesienia. Nie można liczyć na to, że już teraz otrzymamy zupełnie dokładny

[1]) Na cm.$^3$ i sek., jak wyjaśniono na str. 521. *(Tł.).*

[2]) 5350 m. *(Tł.).*

obraz przebiegu zmian promieniowania w związku ze wzrastającem wzniesieniem, gdyż dla każdego interwału wzniesienia utworzono przeciętne z wielu liczb, otrzymanych w różnych warunkach, a liczby te mogły ulegać zmianom w związku z wahaniami promieniowania w czasie, o których już wspominaliśmy. Cyfry w nawiasach, umieszczone obok wartości promieniowania, wskazują liczbę obserwacyj, które dały średnią arytmetyczną.

Widać z tej tabelki, że bezpośrednio ponad ziemią całkowite promieniowanie zmniejsza się cokolwiek. To zmniejszenie wynosi przeciętnie od 0.8 do 1.4 jonów. Ponieważ jednak w niektórych wzlotach zmniejszenie wynosiło, bądź - co - bądź, 3 jony, a w wielu pomiarach było równe 2 jonom, będziemy uważali, że 3 jony stanowią zmniejszenie maksymalne. To zmniejszenie sięga nieraz aż do 1000 m. ponad powierzchnią ziemi. Pochodzi ono, jakeśmy wspominali, z absorbcji promieni $\gamma$, wychodzących z ziemi. Wnioskujemy stąd, co następuje: *promieniowanie $\gamma$ powierzchni ziemi i górnych jej warstw wzbudza w naczyniach cynkowych jonizację, wyrażającą się 3 jonami na cm.$^3$ i sek.*

Na wysokościach do 2000 m. znów zachodzi wyraźne zwiększenie promieniowania. Przyrost ten osiąga na 3000 do 4000 metrów wartość 4 jonów, w granicach od 4000 do 5200 metrów wynosił on nawet 16 do 18 jonów dla każdego z aparatów.

Autor zastanawia się dalej nad przyczynami tak znacznego wzrostu jonizacji na dużych wysokościach i wykazuje, iż nie można go wytłumaczyć skupieniem w górnych warstwach atmosfery jakichkolwiek ciał promieniotwórczych pochodzenia ziemskiego. W konkluzji pisze Hess, co następuje.

*Wyniki niniejszych obserwacyj, jak się zdaje, najłatwiej dadzą się wytłumaczyć, jeżeli się przypuści, że promieniowanie nader przenikliwe wdziera się od góry w naszą atmosferę i że ono jeszcze i w niższych warstwach atmosfery powoduje część jonizacji, obserwowanej w naczyniach zamkniętych. Natężenie tego promieniowania zdaje się podlegać wahaniom w czasie; wahania te można już dostrzec, dokonywując odczytań co godzinę.* Ponieważ w balonie ani w nocy, ani podczas zaćmienia słonecznego nie dostrzegałem zmniejszenia promieniowania, mniemam, że chyba nie można uważać słońca za źródło tego hipotetycznego promieniowania, przynajmniej dopóty, dopóki się ma na myśli bezpośrednie promieniowanie $\gamma$ o biegu prostolinjowym.

— — — — — — — — — — — — — —

Dotychczasowe badania pokazały, że promieniowanie przenikliwe, obserwowane w naczyniach zamkniętych, jest bardzo skomplikowanego pochodzenia. Część promieniowania jest wytwarzana przez substancje promieniotwórcze, znajdujące się na powierzchni ziemi i w górnych warstwach skorupy ziemskiej, i zmienia się stosunkowo mało. Druga część, zależna od czynników meteorologicznych, wynika z działania substancyj promieniotwórczych atmosfery, głównie — *RaC*. Moje obserwacje, dokonane w podróżach balonem, zdają się wskazywać na to, że istnieje jeszcze trzeci składnik całkowitego promieniowania, który rośnie w miarę wzniesienia i również w pobliżu ziemi wykazuje wahania godne uwagi. Dalsze badania powinny zwrócić szczególną uwagę na tę właśnie okoliczność.

W końcu rozprawy autor dziękuje instytucjom, które mu dopomogły w zrealizowaniu jego pracy naukowej.

W. KOLHÖRSTER.

## Pomiary promieniowania przenikliwego do wysokości 9360 m. [1]).

Autor latem roku poprzedniego dokonał badań promieniowania przenikliwego na wysokości 4100, 4300 i 6300 m. Spostrzeżenia autora potwierdziły w zupełności wyniki, otrzymane przez Hess'a. Na wysokości 6300 m. znaleziono 43 jony na cm.³ i sek., gdy na powierzchni ziemi rozpraszanie wynosiło tylko 13.2 jonów/cm.³sek. Tak olbrzymiej różnicy nie można wytłumaczyć jakiemikolwiek błędami obserwacji.

Autor skonstruował ostatnio nowy przyrząd, posiadający szereg ważnych ulepszeń, i w podjętej w czerwcu r. 1914 podróży posługiwał się tak przyrządem ulepszonym, jak i — dawnym.

Obydwu przyrządów używałem do pomiarów w podróży, dokonanej 28-go czerwca 1914 roku. Balon „Metzeler" (poj. 2200 m.³), wzniósłszy się w Bitterfeldzie, pod dowództwem d-ra Everlinga z Adlershofu, osiągnął 9300 m. wysokości; podczas całej podróży mogłem się zajmować obserwacjami, w szczególności na poziomie od 9100 do 9300 m. dokonywałem spostrzeżeń przez godzinę przeszło. Wartości jonizacji, mierzone jednocześnie obydwoma aparatami, zgadzają się dobrze ze sobą, różniąc się od siebie co najwyżej o 5% wartości całkowitej... W poniższej małej tabeli przytaczam wyniki tymczasowe, podając dla porównania i liczby poprzednio otrzymane.

---

[1]) W. Kolhörster. Messungen der durchdringenden Strahlungen bis in Höhen von 9300 m. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, r. 1914, s. 719.

Wobec dobrej zgodności wydaje się chyba niewątpliwem, że wartości te należy uważać za ilościowo ścisłe. Silny regularny wzrost promieniowania powinienby usunąć wszelkie wątpliwości co do realności pomiarów i co do zwiększania się jonizacji w zamkniętem grubościennem naczyniu cynkowem. W braku jakiegokolwiek innego wyjaśnienia, nie można uniknąć tłumaczenia tych faktów przypuszczeniem o istnieniu w górnych warstwach naszej atmosfery lub w naszym układzie słonecznym promieniowania wielkiej przenikliwości...

| Wysokość w m. | Różnica liczby jonów na danej wysokości i na pow. ziemi | |
|---|---|---|
| | Wartości z roku 1913 | Podróż w d. 28 czerwca 1914 |
| 1000 | — 1.5 | — |
| 2000 | + 1.2 | — |
| 3000 | + 4.0 | + 4.3 |
| 4000 | + 8.3 | + 9.3 |
| 5000 | +16.5 | +17.2 |
| 6000 | +28.7 | +28.7 |
| 7000 | — | +44.2 |
| 8000 | — | +61.3 |
| 9000 | — | +80.4 |

Uzupełnienie.

# OGÓLNA TEORJA WZGLĘDNOŚCI I TEORJA GRAWITACJI EINSTEINA [1]).

OPRACOWAŁ Dr. G. DOBORZYŃSKI.

## I. Zasada równoważności.

OGÓLNA teorja względności jest rezultatem zastosowania do zjawisk grawitacyjnych mniejszej teorji względności oraz t. zw. zasady równoważności.

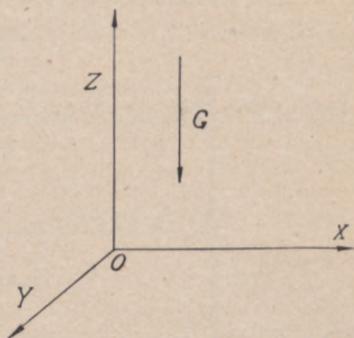
Zasadę równoważności odkrył Einstein w roku 1911-ym. Treść jej jest nadzwyczaj prosta i nie zawiera wcale momentów paradoksalnych, właściwych obu teorjom względności. Zasada ta stwierdza, że zjawiska, zachodzące w jednorodnem polu grawitacyjnem są takie same, jak w przestrzeni, pozbawionej pola, o ile układ odniesienia odbywa ruch jednostajnie przyśpieszony w kierunku wprost przeciwnym do kierunku natężenia pola, a wartość przyśpieszenia wynosi tyleż, co natężenie pola grawitacyjnego. Pole grawitacyjne wpobliżu powierzchni kuli ziemskiej zowie się, jak wiemy, polem ciężkości; można je uznać w przybliżeniu za jednorodne: natężenie pola ma kierunek pionowy, zwrócone jest ku powierzchni ziemi i ma wartość stałą $g$, która wynosi w strefach umiarkowanych 981 cm./sek.$^2$ Wyobraźmy sobie układ odniesienia Kartezjusza tak umieszczony, że oś $z$ jest równoległa do natężenia pola $g$, a zwrot ma przeciwny.

Zjawiska zachodzą w dwu wypadkach zupełnie tak samo: 1-o układ odniesienia jest nieruchomy, lecz działa pole ciężkości o natężeniu $g$; 2-o pola niema wcale, lecz układ odniesienia porusza się ruchem

[1]) Do zrozumienia tego rozdziału konieczna jest znajomość elementów geometrji różniczkowej.

jednostajnie przyśpieszonym w kierunku osi $z$, t. j. wprost przeciwnym do kierunku natężenia pola, przyczem przyśpieszenie wynosi $g$.

Dla uzmysłowienia zasady równoważności pola grawitacyjnego z ruchem układu odniesienia w kierunku przeciwnym, Einstein każe nam wyobrazić sobie obserwatora, zamkniętego w skrzyni, mającej kształt prostopadłościanu; skrzynia niech się znajduje w ruchu jednostajnie przyśpieszonym i ma wielkie otwory w wieku i dnie, przez które przesuwać się mogą napotykane nieruchome przedmioty; każdy przedmiot, przenikający do skrzyni przez otwór w jej wieku, chociaż nieruchomy, będzie się dla obserwatora poruszał ruchem jednostajnie przyśpieszonym w kierunku dna skrzyni; wskutek tego obserwator wywnioskuje, że znajduje się w polu grawitacyjnem o natężeniu takiem, ile wynosi przyśpieszenie owegu przedmiotu względem obserwatora i skrzyni.



Rys. 168.

Zasadę równoważności rozszerzyć można do wszelkich zjawisk fizycznych. Będzie ona wówczas brzmiała, że wszelkie zjawiska fizyczne zachodzą w polu grawitacyjnem jednorodnem w ten sposób, jak gdyby go nie było, lecz układ odniesienia wraz z obserwatorem znajdował się w ruchu jednostajnie przyśpieszonym o kierunku wprost przeciwnym do kierunku pola, a przyśpieszeniu równem natężeniu pola.

Zasada równoważności w połączeniu z mniejszą teorją względności powinnaby znaleźć zastosowanie do wyjaśnienia wielu zjawisk, zachodzących w polach grawitacyjnych. Einstein spostrzegł to równocześnie z jej wygłoszeniem. Usiłowanie jednak tego rodzaju zastosowania zasady równoważności napotkało wielkie trudności, które spowodowały Einsteina do sformułowania ogólnej teorji względności.

Pierwszą z tych trudności jest fakt, że mniejsza teorja względności zajmuje się skutkami ruchu jednostajnego układu odniesienia, a nie jednostajnie przyśpieszonego, jak tego wymaga zamiana jednorodnego pola grawitacyjnego przez ruch układu odniesienia.

Drugą trudność stanowi fakt, że wszystkie rzeczywiste pola gra-

witacyjne nie są jednorodne, jeżeli je brać w całości, lub na dużej przestrzeni: prawo G a l i l e u s z a o stałości natężenia pola ciężkości może być stosowane tylko wpobliżu powierzchni kuli ziemskiej (nie dalej, jak 3 km. od tej powierzchni) oraz nieznacznym pasie, objętym dwoma, niebardzo odległemi, równoleżnikami. Pole grawitacyjne, wytworzone przez jedną wielką masę globu słonecznego lub planetarnego, daje się zastąpić tylko przez ruch układu odniesienia niejednostajnie przyśpieszony (przyśpieszenie musiałoby maleć) w kierunku odśrodkowym (od środka słońca lub planety), przyczem nadto osie musiałyby ulegać deformacji.

Gdybyśmy chcieli w danym wypadku zastosować skrzynię Einsteinowską, należałoby ją urządzić odpowiednio do biegunowego układu współrzędnych, a nie prostokątnego czyli kartezjańskiego. Miałaby ona sześć ścian, jak i skrzynia Einsteina, lecz dno i wieko byłyby wycinkami z powierzchni kulistych; dwie ściany boczne byłyby wycinkami płaszczyzn, przechodzących przez oś główną układu biegunowego; ponieważ biegunem układu jest środek masy słonecznej lub planetarnej, przeto jako oś główną byłoby tu najlepiej obrać oś obrotu masy centralnej; dwie pozostałe ściany boczne byłyby wycinkami powierzchni stożkowych, mających za oś — główną oś układu biegunowego. Krawędzie boczne tej skrzyni ulegałyby skróceniu według formuły, wynikającej z przekształceń L o r e n t z a. Przekształceniami L o r e n t z a nazywa mniejsza (szczególna) teorja względności zależności pomiędzy przestrzennemi współrzędnemi i czasem układu ruchomego ($x'$, $y'$, $z'$, $t'$), będącego w ruchu jednostajnym, a takiemiż współrzędnemi i czasem układu nieruchomego ($x$, $y$, $z$, $t$). Jeżeli ruch pierwszego układu następuje wzdłuż osi $x$ układu nieruchomego w ten sposób, że osie $y'$ i $z'$ są stale równoległe do osi $y$ i $z$, to przekształcenia Lorentza mają postać następującą:

$$\left.\begin{array}{ll} x' = \dfrac{x - vt}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} & z' = z \\ y' = y \qquad t' = & \dfrac{t - \dfrac{xv}{c^2}}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \end{array}\right\} \qquad (1)$$

Otóż boczne krawędzie skrzyni omawianej powinny ulegać skróceniu według formuły:

$$dx' = dx \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad (2)$$

opartej na powyższych przekształceniach. Natomiast czas winien doznawać dylatacji według podobnej formuły, związanej z temi samemi przekształceniami:

$$dt' = \frac{dt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \; ^{1)} \qquad (3)$$

Należy zauważyć, że szybkość $v$ byłaby tu zmienną, zależną od miejsca obserwacji: szybkość tę wykazywać powinno ciało, spadające z nieskończoności do tego miejsca w kierunku środka masy grawitacyjnej.

Wzorów powyższych (2) i (3) mniejszej teorji względności można tu użyć, choć nie mamy do czynienia z ruchem jednostajnym, o ile zastosujemy je na nieskończenie małej przestrzeni, gdyż każdy ruch na nieskończenie małej odległości może być uważany za jednostajny. Dla tego we wzorach omawianych, zamiast skończonej długości $x$ i skończonego czasu $t$ występują ich różniczki $dx$ i $dt$.

Trudności, spotykane na drodze zastosowania zasady równoważności i mniejszej teorji względności do zjawisk grawitacji, Einstein ominął, uzbrajając się w narzędzie, dostarczone mu przez matematykę.

Istniała mianowicie gałąź matematyki, doskonale rozwinięta przez Gaussa, Łobaczewskiego, Bolyai'a, Riemanna, Kleina i Levi-Civitę, znana pod nazwą „geometrji nieeuklidesowej".

## II. Geometrja nieeuklidesowa Gaussa.

Euklides, układając w doskonały system logiczny twierdzenia geometrji dwuwymiarowej (planimetrji) i trójwymiarowej (stereometrji), wymienił kilka pewników (aksjomatów), na których one się opierają. Jeden z nich, piąty, podaje warunek, kiedy dwie proste na płaszczyźnie przecinają się. Wnioskiem z niego jest istnienie na płaszczyźnie linij równoległych, które nie przecinają się nigdzie (których punkt przecięcia leży w nieskończoności).

---

[1]) Porównaj odpowiednie ustępy artykułu o „Mniejszej teorji względności" w rozdziale XII.

Inny zaś wniosek orzeka, że suma kątów w trójkącie równa jest dwu kątom prostym.

Matematyk niemiecki, G a u s s, utworzył geometrję na powierzchniach krzywych, na których 5-ty pewnik E u k l i d e s a nie ma zastosowania. Tak np. geometrja na powierzchni kuli jest nieeuklidesową. Rolę prostej z planimetrji gra tutaj koło wielkie, będąc najkrótszą odległością między dwoma punktami. W trójkątach sferycznych suma kątów może być większa od dwu prostych. Na powierzchni kuli możemy utworzyć trójkąt z trzech kół wielkich, mających, jak wiemy, w tej geometrji cechy linij prostych z planimetrji. Jeżeli zapożyczymy terminologję z geografji i nazwiemy jedną ze średnic kuli osią, a wszystkie koła wielkie, przez nią przechodzące, południkami, to koło wielkie, którego płaszczyzna jest prostopadła do osi, zasługiwać będzie na nazwę równika. Trójkąt, utworzony przez dwa południki i równik, będzie miał dwa kąty proste, a trzeci może mieć wartości od $0^0$ do $180^0$. Stąd wynika, że suma kątów w trójkącie sferycznym może przenosić 3 proste.

Wiele innych różnic między planimetrją, a geometrją sferyczną G a u s s a, można przytoczyć. Zwrócę uwagę na jedną jeszcze, mianowicie: w planimetrji, jak wiemy, przez dwa punkty przesunąć można jedną tylko prostą. W geometrji sferycznej przez dwa punkty przeprowadzić można naogół także tylko jedno koło wielkie, ale istnieje nieskończona liczba par punktów na kuli, przez które przechodzi (przez każdą parę) nieskończona liczba kół wielkich; są to końcowe punkty średnic kuli. Na powierzchni kulistej niema odpowiednika linij równoległych, gdyż wszystkie koła wielkie się przecinają.

Tak więc istnieje zupełnie realna geometrja nieeuklidesowa dwuwymiarowa: jest nią geometrja na powierzchni krzywej. Co więcej, takich geometryj jest wiele rodzajów; tyle mianowicie, ile jest powierzchni krzywych. Wszystkie one są wielce różne między sobą. Planimetrja, czyli geometrja euklidesowa dwuwymiarowa, jest tylko jednym z wielu rodzajów geometryj dwuwymiarowych; wszystkie inne jednak zasługują na nazwę nieeuklidesowych, gdyż piąty pewnik E u k l i d e s a do nich się nie stosuje.

Geometrja G a u s s a nie może posiłkować się układami współrzędnych, używanemi w Geometrji E u k l i d e s a. W planimetrji stosujemy w wielu wypadkach bardzo ogólny układ współrzędnych, t. zw. skośnokątny. Osie jego tworzą między sobą kąt ostry.

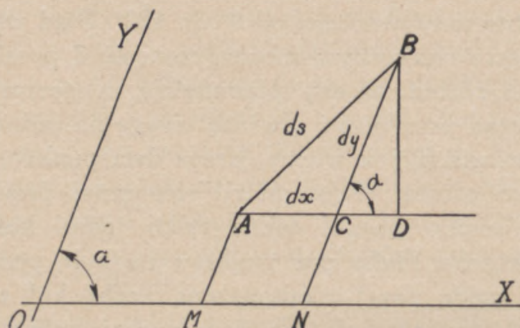
W geometrjach nieeuklidesowych gra dużą rolę t. zw. element

linjowy $ds$, czyli najkrótsza odległość między dwoma punktami. Związek jego z przyrostami współrzędnych $dx$, $dy$, $dz$, albo ogólniej $dx_1$, $dx_2$, $dx_3$ i t. d. jest charakterystyczny dla rodzaju geometrji nieeuklidesowej: jest to jedna z cech, któremi różnią się między sobą. Planimetrja przy użyciu układu skośnokątnego ma wzór elementu linjowego, który łatwo daje się wyprowadzić (rys. 169).

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + 2dx.CD; \quad CD = dy.\cos\alpha$$

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + 2dx\,dy\cos\alpha \qquad (4)$$

W geometrji nieeuklidesowej dwuwymiarowej Gaussa układ współrzędnych nie może być oparty na osiach, stanowiących linje proste. Gauss sam wprowadził tego rodzaju układ, że osie są



Rys. 169.

krzywemi, a rzędne i odcięte każdego punktu należą do jednej rodziny krzywych z odpowiedniemi osiami: rzędne — z osią $y$, odcięte — z osią $x$.

W ten sposób każdy punkt powierzchni krzywej będzie miał swą krzywolinjową odciętą, należącą do rodziny krzywych $x$ i swą takiegoż rodzaju rzędną, należącą do rodziny krzywych $y$.

Wzór elementu linjowego będzie miał tutaj kształt analogiczny do wzoru (4):

$$ds^2 = g_{11}dx^2 + g_{22}dy^2 + 2g_{12}dx\,dy \qquad (5)$$

Wzór (4) jest, jak widać, tylko szczególnym wypadkiem wzoru (5), w którym: $g_{11} = g_{22} = 1$, a $g_{12} = \cos\alpha$.

Współczynniki $g_{11}$, $g_{22}$, $g_{12}$ naszą nazwę składowych „tensora" $g$. Właściwie są cztery takie składowe, odpowiadające następującemu układowi kwadratowemu:

$$\begin{matrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{matrix}$$

Ale składowe $g_{12}$ i $g_{21}$ są równe między sobą. Tensor taki nazywa się symetrycznym. Tensory mają pewne pokrewieństwo z wektorami. W fizyce występują tego rodzaju wielkości. W teorji sprężystości,



Rys. 170.

będącej częścią mechaniki ciał stałych, mamy do czynienia z napięciami i przesunięciami, które są tensorami. Zresztą każdy wektor jest tensorem pierwszego stopnia. Nasz tensor $g$ jest drugiego stopnia. Istnieje cała odrębna gałąź matematyki, zwana „rachunkiem tensorowym". Rozpada się ona na dwie części: algebrę tensorów i analizę tensorów; pierwsza należy do matematyki elementarnej, druga — do wyższej. Analizę tensorów nazywają często „bezwzględnym rachunkiem różniczkowym". Twórcą tego rachunku jest włoski matematyk Levi-Civita.

Chcąc zrozumieć, jak geometrja Gaussa wiąże się z koncepcjami fizycznemi Einsteina, musimy przebrnąć dziedzinę pojęć abstrakcyjnych dość zawiłych.

### III. Geometrje niewyobrażalne.

Od czasu koncepcji Kartezjusza układów odniesienia nauczyliśmy się położenie punktów, a zatem i brył oznaczać liczbami. Tak powstała geometrja analityczna. Jest to, jak wiemy, nauka, pozwalająca przedstawiać figury geometryczne, a więc linje, powierzchnie zapomocą równań algebraicznych. To pogłębienie związku między liczbą a przestrzenią dało początek pewnej wybujałości matematycznej, którą nazwać możemy „geometrjami niewyobrażalnemi". Są ich dwa rodzaje: obydwa znajdują zastosowanie w ogólnej teorji względności Einsteina.

Obydwa rodzaje tych geometryj niewyobrażalnych polegają na posługiwaniu się analogją: są wytworami logiki, wyobraźnia ludzka ująć ich nie może, a zatem nie są, ściśle biorąc, geometrjami, t. j. nie ujmują realnych zjawisk przestrzennych. Są to gałęzie matematyki, którym nic w realnej przestrzeni nie odpowiada; nazwa „geometrja", jaką im nadajemy, uzasadniona jest tem tylko, że posługują się takiemi samemi równaniami, jak trójwymiarowa geometrja euklidesowa realnej przestrzeni, zwana stereometrją.

Pierwszy rodzaj geometryj niewyobrażalnych są to geometrje wielowymiarowe. Równania, odpowiadające utworom realnym przestrzeni trójwymiarowej i płaszczyzny, można uogólnić dodając nowe współrzędne. Mówimy wówczas o „przestrzeni" czterowymiarowej albo nawet wielowymiarowej. Lepiej jest jednak w danym wypadku używać terminu „kontinuum" wielowymiarowe; nazwa ta łacińska oznacza „rozciągłość". Kontinuum dwuwymiarowe Euklidesa będzie to płaszczyzna. Kontinuum trójwymiarowe Euklidesa — realna przestrzeń, w której zachodzą wszystkie zjawiska fizyczne. Znaczenie realne posiada jeszcze kontinuum dwuwymiarowe nieeuklidesowe: są to powierzchnie krzywe. Wszystkie inne kontinua wyższego rzędu są niewyobrażalne, dostępne tylko logice i dają się ująć jedynie rachunkiem.

Pojęcia geometrji czterowymiarowej Euklidesa powstają drogą analogji w następujący sposób. Równanie koła, którego środek jest zarazem początkiem układu współrzędnych, ma kształt taki: $x^2 + y^2 = r^2$. Równanie powierzchni kulistej ma kształt podobny: $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$; oczywiście i tutaj środek kuli jest środkiem układu odniesienia. Cóż będzie oznaczać równanie, zbudowane na podstawie analogji, takiego kształtu: $x^2 + y^2 + z^2 + v^2 = r^2$? Utwór ten nazywamy w geometrji czwartego wymiaru „przestrzenią kuli-

stą". Wyobrazić sobie tego utworu nie jesteśmy w stanie, gdyż nie jest on umiejscowiony w trójwymiarowej przestrzeni. Siedzibą jego według logiki na zasadzie analogji ma być kontinuum czterowymiarowe Euklidesa, tak jak powierzchnia kulista zawarta jest w przestrzeni realnej, t. j. w kontinuum trójwymiarowem Euklidesa, a koło leży na płaszczyźnie, t. j. w kontinuum dwuwymiarowem Euklidesa. Wyobrazić sobie „przestrzeni kulistej" czy „przestrzeni płaskiej", której równanie ma kształt: $Ax + Bg + Cz + Dv + E = 0$ — nie jesteśmy w stanie. Ale te produkty analogji nadają się do dokonywania nad niemi pewnych operacyj rachunkowych, zupełnie podobnych, do tych, które towarzyszą zjawiskom, zachodzącym w przestrzeni i na płaszczyźnie. Chcąc przeciąć kulę płaszczyzną, należy, jak uczy geometrja analityczna, uznać równania: $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ i $Ax + By + Cz + D = 0$ za współistniejące. Eliminując którąkolwiek ze współrzędnych, znajdziemy równanie rzutu krzywej przecięcia na płaszczyznę do odpowiedniej osi prostopadłą. Podobnie możemy zestawiać równania tworów zawartych w kontinuum czterowymiarowem, np. przestrzeni kulistej: $x^2 + y^2 + z^2 + v^2 = r^2$ i przestrzeni płaskiej: $Ax + By + Cz + Dv + E = 0$. Mówimy, że wówczas przecinamy te utwory. Wyobraźnia nic z tym terminem łączyć nie może: jest on utworzony tylko na podstawie analogji. Ponieważ rezultatem przecięcia dwu utworów w przestrzeni jest linja krzywa, przeto, rozumując analogicznie, rezultatem przecięcia dwu „przestrzeni" w kontinuum czterowymiarowem jest powierzchnia krzywa.

Układ współrzędnych, według którego ułożono równania czterowymiarowe jest również niewyobrażalny. Do trzech prostopadłych do siebie osi współrzędnych ma być w tym układzie przeprowadzona czwarta, również do nich wszystkich prostopadła oś. Wyobraźnia nasza zaprzecza możliwości dokonania tego i na to niema rady: należy sam układ uznać jako fikcję, a równanie za produkt logiki, któremu nic w rzeczywistości przestrzennej nie odpowiada. Układ czterowymiarowy osi współrzędnych prostokątnych zawiera więcej jeszcze rzeczy niewyobrażalnych: ponieważ układ kartezjański oparty jest na trzech płaszczyznach, z których każda przechodzi przez dwie do siebie prostopadłe osie, przeto układ czterowymiarowy zawierać winien sześć prostopadłych do siebie płaszczyzn, gdyż liczy sześć różnych par osi do siebie prostopadłych; układ ten winien również zawierać cztery przestrzenie płaskie takie same, jak ta, którą tworzy układ trójwymiarowy Kartezjusza $xyz$, gdyż czwarta oś $v$ z trzema parami osi $xy$, $xz$ i $yz$ tworzy przestrzenie: $vxy$, $vxz$ i $vyz$; prze-

strzenie te winny być do siebie „prostopadłe", tak jak osie tworzące układ i płaszczyzny z nich utworzone są do siebie prostopadłe; rezultatem przecięć wzajemnych tych czterech przestrzeni płaskich jest sześć wyżej wspomnianych płaszczyzn.

Skoro wielowymiarowe geometrje są niewyobrażalne, powstaje pytanie, jaki pożytek przynieść może ich zastosowanie w fizyce, czy astronomji? Odpowiedź przedstawia się w ten sposób. Zależności funkcjonalne między wielkościami nie ograniczają się do równań wiążących tylko trzy zmienne. Każde równanie, zawierające więcej niż trzy zmienne, uznać możemy za symbol utworu geometrji wielowymiarowej. Nad takiemi równaniami możemy dokonywać różnych mniej lub więcej zawiłych operacyj rachunkowych, dla których zawsze można znaleźć nazwę geometryczną, wzorując się na analogicznych operacjach geometrji trójwymiarowej. Tak np. możemy mówić o przeprowadzaniu przestrzeni płaskiej, stycznej do przestrzeni krzywej, mając na uwadze to, że możemy przeprowadzać płaszczyznę styczną do powierzchni krzywej, a linję prostą styczną do linji krzywej na płaszczyźnie. Chącą otrzymać realny rezultat tych rachunków w dziedzinie geometrji wielowymiarowej, należy dokonać pewnych „przecięć" czy inych operacyj pseudo-geometrycznych i znowu znajdziemy się w przestrzeni, czy też w kontinuum trójwymiarowem. Ponieważ logika geometryj wielowymiarowych jest równie doskonałą, jak innych gałęzi matematyki, więc wyniki rachunków tych będą ścisłe, a rezultat wyobraźni dostępny.

Geometrję czterowymiarową wprowadził do mniejszej teorji względności Minkowski, ilustrując związki zachodzące między przestrzennemi zmiennemi a czasem, wynikające z przekształceń Lorentza. Einstein zużytkował ten aparat w ogólnej teorji względności. Wobec tego ten rodzaj geometrji niewyobrażalnej jest niezbędny dla zrozumienia podstaw tej teorji.

Drugi rodzaj geometryj niewyobrażalnych stanowią geometrje nieeuklidesowe wyższych wymiarów, niż Gaussowska dwuwymiarowa. Ideę takiej geometrji powzięli równocześnie Bolyai i Łobaczewski w pierwszej połowie XIX-go stulecia. Wzory i równania geometrji na powierzchniach krzywych można uogólnić, dodając nowe współrzędne. Można również transponować nazwy operacyj geometrycznych, zaczerpnięte z dziedziny dwuwymiarowej geometrji Gaussa, do wyższych wymiarów, przyczem nazwy te nie mogą jednak odpowiadać żadnym wyobrażeniom realnym. W ogólnej teorji względności nie mamy do czynienia z geometrją Bolyai'a i Łoba-

czewskiego, która ma za przedmiot kontinuum nieeuklidesowe t. zw. eliptyczne, lecz z geometrją późniejszej daty, pochodzącą od Riemanna i zajmującą się kontinuum nieeuklidesowem, zwanem hyperbolicznem. Ponadto, teorja ogólna względności operuje *czterowymiarowem* kontinuum nieeuklidesowem. Element linjowy, którego wzór znamy z dwuwymiarowego kontinuum Gaussa, ma więc w ogólnej teorji względności kształt taki:

$$ds^2 = g_{11}\,dx_1^2 + g_{22}\,dx_2^2 + d_{33}\,dx_3^2 + g_{44}\,dx_4^2 + 2\,g_{12}\,dx_1\,dx_2 + \\ + 2\,g_{13}\,dx_1\,dx_3 + 2\,g_{14}\,dx_1\,dx_4 + 2\,g_{23}\,dx_2\,dx_3 + \qquad (6) \\ + 2\,g_{24}\,dx_2\,dx_4 + 2\,g_{34}\,dx_3\,dx_4\,.$$

Tensor $g$ ma tutaj 16 składowych, których liczba jednak redukuje się do 10, gdyż składowe o różnych wskaźnikach są parami równe sobie, jako że tensor jest symetryczny: $g_{12} = g_{21}$; $g_{13} = g_{31}$; $g_{14} = g_{41}$; $g_{23} = g_{32}$; $g_{24} = g_{42}$; $g_{34} = g_{43}$. Ogólny schemat składowych tego tensora jest następujący:

$$\begin{matrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{matrix}$$

Tensor $g$ jest drugiego stopnia, lecz w kontinuum 4-wymiarowem.

### IV. Koncepcje ogólnej teorji względności.

Trudności, spiętrzone na drodze do zastosowania zasady równoważności i mniejszej teorji względności, dają się usunąć przez rozważanie następującej treści. Pole grawitacyjne realne, np. wytwarzane przez słońce, daje się zastąpić przez ruch układu odniesienia wraz z obserwatorem, przyczem osie współrzędnych muszą się deformować. Einstein nazwał tego rodzaju układ odniesienia „mięczakiem odniesienia". Atoli ten sam rezultat osiągniemy, zakładając, że owego dziwacznego ruchu niema, natomiast obserwatora, pozostającego wraz z układem odniesienia na miejscu, przestaje obowiązywać geometrja euklidesowa. Wówczas, oczywiście, układ Kartezjusza należy zastąpić układem Gaussa, w którym element linjowy ma podaną wyżej postać. Należy zauważyć, że, według mniejszej teorji względności, element linjowy ma wzór:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx_1^2 - dx_2^2 - dx_3^2.$$

Wielkości $x_1$, $x_2$, $x_3$ mają tu znaczenie zwykłych przestrzennych współrzędnych Kartezjusza. Minkowski dodaje czwartą, oznaczając: $dx_4^2 = c^2 dt^2$.

Tę nową współrzędną nazywać będziemy „spacjalizowanym czasem". W istocie, jest to pewna długość: taka mianowicie, jaką przebiega światło, którego szybkość wynosi $c$ w ciągu czasu $dt$., który odpowiada elementowi linjowemu $ds$. Wobec tego nazwa „spacjalizowany" czas jest uzasadniona, gdyż po polsku znaczy to „uprzestrzeniony". Po wprowadzeniu tej czwartej współrzędnej, element linjowy w mniejszej teorji względności ma postać:

$$ds^2 = dx_1^2 - dx_2^2 - dx_3^2 - dx_4^2.$$

Einstein w ogólnej teorji względności przejął koncepcję Minkowskiego o spacjalizowanym czasie. Wobec tego element linjowy w nieeuklidesowem kontinuum czterowymiarowem ma ogólny kształt, jak podano wyżej. Współczynniki $g_{11}$, $g_{12}$, $g_{13}$, $g_{14}$, $g_{22}$, $g_{23}$, $g_{24}$, $g_{33}$, $g_{34}$ i $g_{44}$, jako funkcje $x_1$, $x_2$, $x_3$ i $x_4$, zależą tylko od rodzaju pola grawitacyjnego. Z tego powodu, że zależą one tylko od rodzaju pola i miejsca w kontinuum czterowymiarowem, Einstein nazywa je słusznie „potencjałami grawitacyjnemi". Te składowe tensora $g$ decydują równocześnie o rodzaju geometrji nieeuklidesowej, jaka zastępuje dane pole grawitacyjne. Pole grawitacyjne, wytworzone przez jedną masę, takie jak pole Słońca naszego układu planetarnego, pozwala, dzięki specjalnym warunkom, wyznaczyć wartości potencjałów grawitacyjnych. Wszystkie składowe tensora $g$ o różnych wskaźnikach mają dla pola Słońca w układzie biegunowym, dla którego środek Słońca jest biegunem, wartości zerowe; różnemi od zera są tylko cztery potencjały grawitacyjne o jednakowych wskaźnikach i mają wartości następujące:

$$g_{11} = c^2\left(1 - \frac{2k^2M}{c^2}\right); \quad g_{22} = -\frac{1}{1 - \frac{2k^2M}{c^2}}; \quad g_{33} = -r^2; \quad g_{44} = -r^2 \sin^2 \vartheta.$$

We wzorach tych $c$ oznacza szybkość światła, $k$ — stałą grawitacji, $M$ — masę Słońca (lub innego ciała centralnego), $r$ — odległość badanego miejsca pola od środka układu współrzędnych (środka Słońca), $\vartheta$ — kąt wysokości. Współrzędne w tym układzie są: $x_1 = t$, $x_2 = r$, $x_3 = \vartheta$, $x_4 = \varphi$, gdzie $t$ oznacza czas, a $\varphi$ — kąt azymutu. Nazwy „kąt wysokości" i „kąt azymutu" wzięte są z układu poziomowego, używanego w astronomji.

## V. Pierwsze sprawdzenie ogólnej teorji względności.

Teorję względności ogólną ogłosił Einstein w roku 1916. Od tego czasu starano się sprawdzić jej wyniki. Istnieją trzy zjawiska, które teorja ta wyjaśnia i daje liczbowe rezultaty, bliskie danym obserwacyjnym. Pierwsze z tych zjawisk dotyczy pewnych zaburzeń, obserwowanych przy obrocie planety Merkurego dokoła Słońca.

Zaburzenia czyli perturbacje istnieją w obrocie każdej planety. Są one zazwyczaj wynikiem przyciągania przez sąsiednią planetę. Na mocy takich zaburzeń Leverrier wyznaczył w swoim czasie miejsce, gdzie powinien się w oznaczonym czasie znajdować Neptun, nieznana podówczas planeta, wywołująca perturbacje w biegu Urana. W tem miejscu we wskazanym czasie znaleziono też tę planetę. Obecnie, w roku bieżącym została wykryta dziewiąta planeta Pluton, na mocy zaburzeń w drogach Neptuna i innych planet górnych.

Zaburzenia w biegu Merkurego są tak znaczne, że wpływem sąsiednich planet Wenery i Ziemi objaśnić się nie dają. Zaburzenia te polegają na przesuwaniu się punktu przysłonecznego (perihelium). Według obliczeń amerykańskiego astronoma Newcomba z roku 1895-go, całkowite przesunięcie tego punktu wynosi w ciągu lat 100 kąt równy 572″,70. Wpływami przyciągania sąsiednich planet na podstawie teorji grawitacji Newtona daje się wyjaśnić przesunięcie o kąt 529″,21. Nadmiar przesunięcia, wynoszący 43″,49, był zupełnie zagadkowy z punktu widzenia teorji Newtona.

Wyjaśnia go teorja Einsteina. Drogę planety znajduje teorja ta w sposób następujący. U podstawy teorji ogólnej względności leży jedna z tez, znanych z mniejszej teorji względności, polegająca na tem, że prawa fizyczne powinny mieć formę taką, aby nie zmieniały się bez względu na zmiany, którym podlegać może układ odniesienia, a więc jego ruch oraz ewentualne odkształcenia osi. W stosunku do teorji grawitacji Einsteina, należy zaznaczyć, że prawa fizyczne powinny mieć formę niezależną od geometrji, właściwej danemu miejscu w przestrzeni. Ponieważ teorja grawitacji Einsteina wzamian za pole grawitacyjne wprowadza geometrję nieeuklidesową, należy stwierdzić, że planety winny się poruszać tak, jak punkty materjalne zupełnie swobodne. Powstaje pytanie, jaką powinna być t. zw. „linja światowa" (Weltlinie, t. j. linja zależności między spacjalizowanym czasem a trzema przestrzennemi współrzędnemi), odpowiadająca ruchowi planety w kontinuum czterowymiarowem Riemanna. Rozwiążmy najprzód kwestję, jaką byłaby linja punktu

materjalnego zupełnie swobodnego w czterowymiarowem kontinuum Euklidesa. Wskazówkę w tym względzie daje pierwsza zasada dynamiki Newtona. Punkt materjalny zupełnie swobodny porusza się, według tej zasady, ruchem jednostajnym po linji prostej. Skoro ruch ma być jednostajnym, linja światowa, odpowiadająca punktowi materjalnemu zupełnie swobodnemu, powinna być w kontinuum Euklidesa czterowymiarowem linją prostą. Chcąc nadać prawu temu charakter ogólny, jak tego wymaga ogólna teorja względności, musimy wyrazić się w ten sposób: linja światowa w kontinuum dowolnego rodzaju (a więc zarówno euklidesowem, jak nieeuklidesowem), odpowiadająca ruchowi punktu materjalnego, powinna być linją „geodetyczną" czyli linją, łączącą dwa punkty kontinuum w sposób najkrótszy. Taką linją geodetyczną w kontinuum Euklidesa jest linja prosta. W kontinuum dwuwymiarowem nieeuklidesowem Gaussa na kuli jest linją geodetyczną koło wielkie. Zawsze linja geodetyczna jest linją najkrótszej odległości. Stosując wyżej rozwinięte idee do ruchu planet, stwierdzić należy, że droga planety powinna być taka, aby linja światowa, jej odpowiadająca, była geodetyczną linją kontinuum Riemanna. Einstein znalazł równanie takiej linji. Droga planety, jej odpowiadająca, okazuje się wielolistkową rozetą płaską, której każda część (liść rozety) ma kształt bliski elipsie. Obliczone według tych rozważań przesunięcie perihelium wynosi dla Merkurego 43",4 na 100 lat. Zgodność z wynikami obserwacyj Newcomba zdumiewająca. Zarzutem jedynym, jaki stawiają niektórzy astronomowie temu sprawdzeniu teorji grawitacyji Einsteina, jest to, iż obserwacje, na których oparł się Newcomb, są już nieco przestarzałe, tak że należałoby jego obliczenia wznowić, biorąc pod uwagę nowoczesne, 35-letnie, obserwacje późniejsze.

### VI. Drugie sprawdzenie ogólnej teorji względności.

Nietrudno daje się dowieść, że według ogólnej teorji względności czas w polu grawitacyjnem ulega dylatacji zupełnie podobnej do dylatacji wskutek szybkiego ruchu w mniejszej teorji względności. W rezultacie długość fali w różnych miejscach pola grawitacyjnego, wytwarzanego przez Słońce, nie może być jednakowa. Im bliżej ku środkowi Słońca, tem długość fali staje się większa. Wynika z tego, że linje Fraunhofera, powstające wskutek pochłonienia światła fotosfery w atmosferze gazowej słońca, muszą być przesunięte ku czerwonemu krańcowi widma w porównaniu z odpowiedniemi linjami

barwnemi widma emisyjnego na Ziemi. Teorja względności pozwala na wyprowadzenie wzoru przesunięcia względnego:

$$\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = \frac{kM(D-R)}{RDc^2}.$$

We wzorze tym $\lambda'$ oznacza długość fali pewnej linji Fraunhofera w widmie Słońca, a $\lambda$ — długość fali prążka barwnego widma emisyjnego na Ziemi, odpowiadającego tej linji. Prawa strona wzoru zawiera $k$ stałą grawitacji, wynoszącą $6{,}66.10^{-8}$ cm$^3$/gsek$^2$, $M$ — masę Słońca, równą $199.10^{31}$ gramom, $R$ — promień kuli słonecznej, który mierzy $69713.10^6$ cm. Poza tem wchodzi tam $c$ — szybkość światła, wynosząca $3.10^{10}$ cm/sek. Po wykonaniu rachunku otrzymujemy $\lambda' - \lambda = 2151.10^{-9}\,\lambda$; jest to już wartość przesunięcia bezwzględnego, wyrażonego w częściach długości fali danego prążka. Linja Fraunhofera, odpowiadająca prążkowi sodu $D$, o długości fali $\lambda = 5896\ \mathring{A}$ (ongstremów), powinna być przesunięta ku czerwonemu krańcowi widma o $\lambda' - \lambda = 0{,}0127\ A$. Należy pamiętać, że ongstrem jest miarą długości stanowiącą stomiljonową część centymetra ($\mathring{A} = 0{,}1\ \mu\mu = 10^{-4}\ \mu = 10^{-7}$ mm $= 10^{-8}$ cm).

Rachunek powyższy wykazuje, że do sprawdzenia słuszności teorji Einsteina w tej dziedzinie pokusić się mogą tylko obserwatorja astronomiczne, zaopatrzone w doskonałe, nadzwyczaj precyzyjne teleskopy i spektrografy. Najpoważniejszem z nich jest obserwatorjum na Mount - Wilson w Kalifornji. Specjalistą od badań astrofizycznych tego obserwatorjum jest Saint-John. Jest to największy autorytet w tej dziedzinie. Opinja jego, początkowo niezbyt przychylna teorji Einsteina, w roku 1923-im uległa radykalnej zmianie. W tym czasie Saint-John ogłosił pracę nad przesunięciami prążków Fraunhofera par żelaza w widmie Słońca; w konkluzji tej pracy uczony amerykański orzeka, że teorja Einsteina daje najprawdopodobniejsze wyjaśnienie przesunięć, obserwowanych w prążkach żelaza widma słonecznego. Opinję Saint-Johna poparł bardzo skutecznie inny astronom, dyrektor tegoż obserwatorjum, Adams. Obserwował on widmo jednej z najosobliwszych gwiazd stałych, mianowicie t. zw. towarzysza Syrjusza. Syrjusz bowiem jest gwiazdą podwójną, a towarzysz jego gwiazdą tem osobliwą, iż posiada pono niesłychanie wielką gęstość, przenoszącą 53 tysiące razy gęstość wody. Istnienie tak wielkiej gęstości jest śmiałą hipotezą, wygłoszoną przez słynnego astronoma współczesnego w Anglji, Eddingtona. Pomimo śmiałości, hipoteza ta nie jest sprzeczną

z nowoczesnemi pojęciami fizyków o budowie materji: materja, złożona z samych jąder atomowych, bez obiegających je elektronów, mogłaby wykazywać gęstość, bardzo przenoszącą gęstość wszystkich ciał, znanych na Ziemi. Ciało o tak wielkiej gęstości, jaką ma wykazywać towarzysz Syrjusza, musiałoby, według ogólnej teorji względności, wywoływać o wiele większe przesunięcie prążków Fraunhofera, niż Słońce. Dla linji $H_\beta$ wodoru powinno wynosić to przesunięcie 0,36 Å. W pracach Adamsa, ogłoszonych w latach 1925 i 1926, stwierdza on w obserwowanem widmie istnienie podobnych przesunięć. W konkluzji swej pracy Adams orzeka: „Rezultat otrzymany może być uważany jako dowód bezpośredni istnienia zjawiska Einsteina i rzeczywistości nadzwyczaj wielkich gęstości, przepowiadanych przez Eddingtona dla gwiazd białych, słabego blasku". Wielkie tedy powagi opowiedziały się po stronie teorji względności, o ile chodzi o przesunięcie prążków Fraunhofera. Niestety, w tych sprawdzeniach są słabe strony. Wyniki Adamsa osłabia to właśnie, że mają one sprawdzić, prócz teorji względności, także ową niesłychanie wielką, przekraczającą tysiąckrotnie wszelkie doświadczenia, gęstość osobliwej gwiazdy. Orzeczenie Saint-Johna osłabia fakt wręcz przeciwnych, o kilka lat wcześniejszych opinij jego, wygłoszonych po obserwacjach nad prążkami azotu w widmie Słońca. Sprzeczności tej słynny astronom nie wyjaśnił. Należy i to mieć na uwadze, że są znane i inne przyczyny, mogące wywoływać przesunięcie prążków Fraunhofera w widmie Słońca i gwiazd stałych. Są to, między innemi, zjawisko Dopplera i wielkie ciśnienie, panujące na Słońcu. W każdym razie orzeczenia astronomów z Mount - Wilson mają charakter nieomal wyroczni: tak dalece żadne obserwatorjum świata nie może konkurować z tym kalifornijskim przybytkiem wiedzy co do ścisłości i subtelności spostrzeżeń.

### VII. Trzecie sprawdzenie ogólnej teorji względności.

Sprawdzenie to dotyczy ugięcia promieni gwiazd wpobliżu wielkiej masy grawitacyjnej Słońca. Hipoteza tego ugięcia była wygłoszona przez astronoma Soldnera w roku 1801 na podstawie panującej wówczas teorji korpuskularnej światła. Wartość liczbowa ugięcia wynosić powinna, według Soldnera, 0″,85 dla promieni gwiazd, przebiegających tuż koło tarczy słonecznej. Należy zauważyć, że według współczesnych mniemań o masie, zależnej od szybkości ruchu,

a więc poniekąd produktu energji (zjawisko Kaufmanna) [1], hipoteza Soldnera dałaby się teraz utrzymać. Einstein wyprowadza ją na podstawie swojej teorji grawitacji i zasad ogólnej teorji względności. Znane jest twierdzenie Fermata o przebiegu promienia światła. W zastosowaniu do ogólnej teorji względności brzmi ono w ten sposób, że promień światła o jakiemkolwiek kontinuum powinien być linją geodetyczną. Z drugiej strony nietrudno jest dowieść, że element linjowy wzdłuż „linji światowej", odpowiadającej promieniowi światła, równy jest zeru. Można wywnioskować to z faktu, że na małej przestrzeni każdy układ współrzędnych można zastąpić układem Kartezjusza i zastosować mniejszą teorję względności; wówczas dla elementu linjowego otrzymujemy wzór następujący, już nam znany:

$$ds^2 = c^2dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2).$$

Promień światła w przestrzeni przebiega z szybkością $c$, a zatem droga, którą robi w owym nieskończenie małym odcinku przestrzeni, wynosi: $cdt$. Z drugiej strony drogę tę wyrazić możemy w kartezjańskich współrzędnych jako $\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$. Stąd równość:

$$dx^2 + dy^2 + dz^2 = c^2dt^2.$$

Zestawiając obydwa wzory, otrzymujemy dla $ds$ wartość zero:

$$ds = 0.$$

Ponieważ według zasady ogólnej teorji względności prawa fizyczne powinny być jednakowe bez względu na rodzaj kontinuum, stosowanego w polu grawitacyjnem, przeto promień światła posiada linję światową, wzdłuż której element linjowy równy jest zeru. Jest ona nadto linją geodetyczną. Fizycy niemieccy nazywają ją tedy „geodetyczną linją zerową" (geodätische Nullinie).

Znając równanie linji geodetycznej w kontinuum Riemanna, można wyprowadzić wzór kąta ugięcia promieni gwiazd $\gamma$:

$$\gamma = \frac{4kM}{Rc^2}.$$

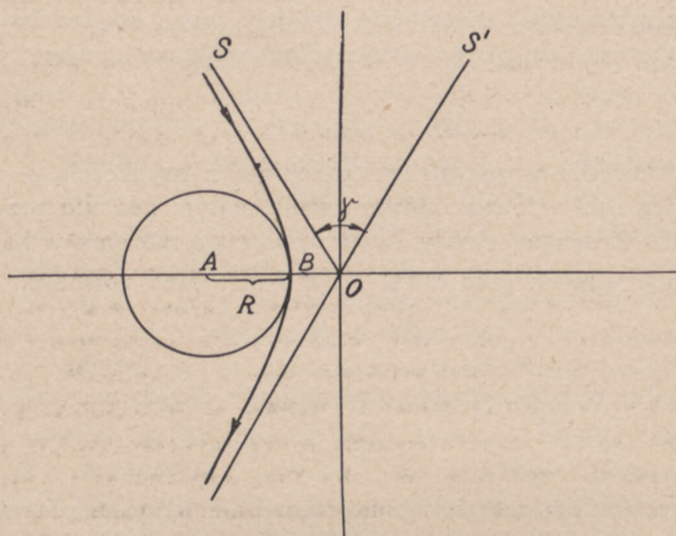
Wpobliżu Słońca promień światła przebiega wzdłuż linji, nieco odbiegającej od hyperboli. Obraz gwiazdy widzimy w $S'$ zamiast w $S$.

---

[1]) Porównaj odpowiednie ustępy artykułu o „Mniejszej teorji względności" w rozdziale XII.

Oczywiście, kąt jest na rysunku niesłychanie powiększony. Według łatwego rachunku, podstawiając liczby już przytoczone powyżej, otrzymujemy dla ugięcia wartość 1,7″ czyli dwa razy większą od ugięcia, przewidywanego na mocy prawa ciążenia powszechnego. Sprawdzenie teorji względności sprowadza się więc do wyznaczenia wartości ugięcia i rozstrzygnięcia, która z wartości hipotetycznych jest bliższą prawdy.

Przekonać się o istnieniu ugięcia promieni gwiazd w polu grawitacyjnem Słońca oraz wymierzyć jego wielkość można tylko podczas




Rys. 171.

całkowitego zaćmienia Słońca: w innych bowiem okolicznościach światło gwiazd wpobliżu tarczy słonecznej niknie bez śladu wobec blasku gwiazdy dziennej. Podczas całkowitego zaćmienia zdejmuje się fotografje gwiazd wpobliżu brzegów zaćmionego dysku Słońca oraz później pogodną nocą w zwykłych warunkach — te same okolice nieba. Różnice w położeniu gwiazd na obu kategorjach klisz pozwalają stwierdzić istnienie przesunięcia obrazów gwiazd wskutek ugięcia promieni światła oraz wymierzyć wielkość tego ugięcia.

Pomiary astronomiczne tego ugięcia czyniono już kilkakrotnie. Głównych obserwacyj dokonano podczas zaćmień dnia 29. V. 1919 oraz dnia 21. IX. 1922. Zaćmienie w roku 1919 było specjalnie pomyślne do przedsięwzięcia tego rodzaju pomiarów z przyczyny dłu-

gotrwałości (302 sekundy) oraz tej okoliczności, że Słońce znajdowało się wówczas w tem miejscu zodjaku, gdzie znajduje się wiele gwiazd o silnym blasku, mianowicie w pobliżu skupienia Hyad w gwiazdozbiorze Byka. Wysłano z Anglji dwie ekspedycje specjalnie w celu zbadania ugięcia promieni gwiazd. Jedna z nich pod kierunkiem Eddingtona udała się na Wyspę Książęcą, położoną niedaleko brzegu afrykańskiego w zatoce Gwinejskiej. Druga obrała za miejsce swych obserwacyj Sobral na północy Brazylji; kierownictwo nią objął Davidson.

Sprawozdanie z obydwu wypraw ogłoszone zostało w roku 1920; prócz kierowników, widnieje tam nazwisko Dysona. Trzej znakomici autorzy kładą nacisk na zgodność jednego z rezultatów, otrzymanych na Wyspie Książęcej — 1,61″, z rezultatami w Sobralu, mianowicie — 1,75″, i stwierdzają zgodność tych wyników z wartością ugięcia, przewidywaną przez teorję względności.

Ogłoszenie rezultatów wypraw angielskich z roku 1919 poczytano powszechnie za stwierdzenie słuszności teorji Einsteina, conajmniej tej doniosłości, jak wyjaśnienie przesunięcia perihelium Merkurego. Były jednak głosy ostrej krytyki, zwłaszcza co do wyboru pewnych tylko rezultatów z pośród wielu mniej pomyślnych dla teorji Einsteina. Sami nawet astronomowie z Greenwich (autorowie sprawozdania) wyrażali zdanie, że byłoby ze wszechmiar pożądane, aby ich wyniki zostały stwierdzone przez inne obserwacje zaćmień. Apel nie pozostał bez echa. W roku 1922 wysłano aż 6 ekspedycyj. Trzy wyprawy: australijska z obserwatorjum w Adelaidzie pod kierownictwem Dodwella, kanadyjska, którą prowadzili Chant i Young, oraz amerykańska z obserwatorjum Lick'a pod dowództwem Campbella, dały rezultaty zgodne z teorją Einsteina, mianowicie 1,77″, 1,75″ i 1,72″. Trzy inne nie mogły dokonać zdjęć. Pierwsza z tych trzech wypraw, które otrzymały rezultaty, obrała za miejsce spostrzeżeń Cordillo Downs na północno-wschodnim krańcu południowego wybrzeża Australji. Dwie inne zainstalowały się w Wallal na pustynnem wybrzeżu północno-zachodniem kontynentu australijskiego. I te atoli rezultaty nie zdołały przekonać wszystkich oponentów. Główne zarzuty opierają się na wielkiej rozpiętości otrzymanych rezultatów. W istocie, wyprawa Dodwella otrzymała najmniejszą wartość ugięcia 0,71″, największą — 2,40″, wyprawa zaś Chant' i Young'a najmniejszą wartość zanotowała 0,45″, największą — 3,34″. Wobec tych różnic wartości średnie mają problematyczne znaczenie. Najlepiej pod tym względem przedstawia się

wyprawa Campbella, gdyż najmniejsza wartość wynosi 1,35″, a największa 1,91″.

Streszczając wszystkie sprawdzenia wniosków z ogólnej teorji względności, zgodzić się należy, że sprawdzenia wypadają raczej na korzyść tej teorji, niż za jej odrzuceniem. Ale decydujących bezwzględnie dowodów jej słuszności obserwacje te jeszcze nie dostarczyły.

---

# BUDOWA MATERJI

OPRACOWAŁ

S. ZIEMECKI.

## DZIAŁ I.

# CZĘŚCI SKŁADOWE ATOMÓW.

JONIZACJA GAZÓW I ELEKTRONY. — ŁADUNEK ELEMENTARNY. — PROMIENIE ELEKTRYCZNOŚCI DODATNIEJ. IZOTOPY. — PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ. — JĄDRO ATOMU.— ROZPAD ATOMÓW NATURALNY I SZTUCZNY. PROTONY.

Rozdział I.

## ELEKTRONY.

JONIZACJA. Chemja i fizyka wieku XIX-go operowały pojęciem atomu niepodzielnego, niezmiennego. Wyobrażenie o niezmienności atomów znajdowało mocną podstawę doświadczalną w badaniach chemji analitycznej, prowadzących do ściśle określonych wartości ciężarów atomowych. Dopiero odkrycie promieni Röntgena, dokonane w r. 1895, zachwiało temi pojęciami.

Promienie *X* dały fizykom do rąk skuteczny środek wytwarzania gazów, przewodzących prąd elektryczny. Przechodzenie elektryczności przez gazy posiada mechanizm podobny do przechodzenia prądu przez elektrolity, co czytelnik jasno sobie uprzytomni na podstawie pracy J. J. Thomsona i E. Rutherforda, umieszczonej niżej w rozdz. VII-ym. Pod wpływem promieni *X* i działania ciał radjoaktywnych powstają w gazie pierwotnie obojętnym jony naelektryzowane dodatnio i ujemnie. Jeżeli będziemy mieli do czynienia z gazem jednoatomowym, jak np. hel, nie unikniemy wniosku, że atomy helu, które pod wpływem promieniowania musiały ulec rozkładowi na części naelektryzowane znakami przeciwnemi, nie są niepodzielne.

**Promienie katodowe.** W przeświadczeniu o rozpadzie atomów umacniają nas dalej własności promieni katodowych. Promienie te, odkryte w roku 1859 przez Plückera, były potem przedmiotem badań Hittorfa (1869), Goldsteina (1876), Crookes'a (1879), Hertza, Schustra, Lenarda i wielu innych. Co do natury tych promieni, zdania były podzielone; uczeni niemieccy skłaniali się ku poglądowi, że one polegają na jakichś procesach bliżej nieznanych, zachodzących w eterze kosmicznym; według innego poglądu wyobrażano sobie, że promienie katodowe są cząsteczkami materjalnemi naelektryzowanemi ujemnie, odrzucanemi przez katodę. Rozstrzygnięcie i ostateczne wyjaśnienie tej zagadki dały badania

J. J. Thomsona, dokonane w roku 1897. Thomson dowiódł doświadczalnie (p. rozdz. VIII), że promienie katodowe, otrzymywane w określonej rurze próżniowej, posiadają własności niezależne ani od natury elektrod, ani od rodzaju gazu, którego resztki wypełniają rurę próżniową. Wywnioskował stąd, że muszą one składać się z ciałek, zawartych we wszelkich atomach materjalnych, a więc z ciałek subtelniejszych od samych atomów. Te cegiełki budowy atomów nazwał Thomson korpuskułami. Dziś historycznie utarła się nazwa *elektronów* [1]*)*.

Dawniej wytwarzano promienie katodowe wyłącznie w rurkach próżniowych, zwanych rurkami Crookes'a, napełnionych silnie rozrzedzonemi gazami (ciśnienie rzędu setnych lub tysiącznych milimetra słupa rtęci). Jak wiadomo [2]), promienie katodowe biegną po linjach prostych tak, iż w rurce kształtu, pokazanego na rys. 172, promienie katodowe, uderzając o ściankę w okolicy *p*, tam wytwarzają fluorescencję. Wiemy obecnie, że elektrony mogą być też wyzwalane z metali przez ich żarzenie; jest to sposób najczęściej stosowany w technice, np. w radjotelegrafji, niemniej ważny dla nauki czystej, np. — w wytwarzaniu laboratoryjnem promieni Röntgena (p. str. 476), w pomiarach stałych, charakteryzujących promienie katodowe. Elektrony żarzenia posiadają b. małą prędkość; przyśpiesza

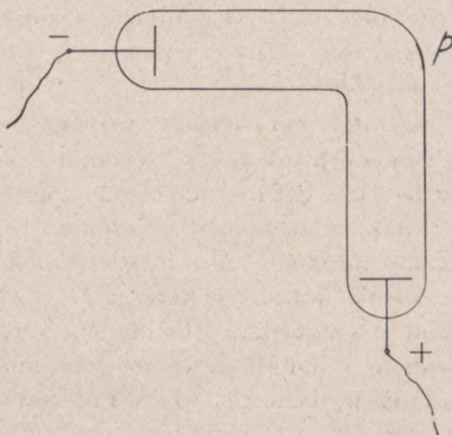
---

[1]) William Crookes (1832—1919) nazywał promienie katodowe materją promienistą i upatrywał w nich czwarty rodzaj skupienia materji; o czwartym stanie skupienia materji rozmyślał jeszcze Faraday, przypuszczając, iż ten stan o tyleż różni się od stanu lotnego, o ile stan lotny różni się od ciekłego W poglądach Crookes'a można niewątpliwie dostrzec analogję do naszych wyobrażeń obecnych; należy wszakże mieć na względzie, że Crookes dawał się unieść wyobraźni, a nie popierał swych idej dowodami ścisłemi. Thomson pierwszy ilościowo wykazał, że cząstki promieni katodowych są odrębne od atomów. Piękne doświadczenia wykładowe, któremi dziś ilustrujemy własności promieni katodowych, wszystkie niemal były pomysłu Crookes'a. Z prac naukowych Crookes'a, poza pracami nad przechodzeniem elektryczności przez gazy rozrzedzone, najbardziej zasługują na uwagę badania w dziedzinie analizy widmowej, które doprowadziły do wykrycia talu (thallium, r. 1861). Wyznaczając ciężar atomowy tego pierwiastka, używał Crookes b. czułej wagi, umieszczonej w próżni. Przy ważeniach zwrócił uwagę na silny wpływ, wywierany na wagę przez energję promienistą. Te spostrzeżenia skłoniły go do systematycznych badań nad działaniem mechanicznem promieniowania. W związku z powyższem został wynaleziony radjometr.

[2]) Zakładamy, że czytelnikowi znane są główne własności promieni katodowych. Opisują je podręczniki szkolne (np. t. 3-ci „Nauki fizyki" Natansona i Zakrzewskiego).

się ją zapomocą zewnętrznych pól elektrycznych, co widzimy np. na rys. 173 (str. 554). Można również otrzymywać elektrony swobodne przy naświetlaniu metali w próżni promieniami nadfiołkowemi lub promieniami Röntgena (zjawisko fotoelektryczne). Wreszcie dogodne źródło otrzymywania elektronów szybkich stanowią preparaty radowe.

W zjawiskach elektrolizy możemy odróżniać jony zapomocą charakterystycznego stosunku $e/m$, — ładunku elektrycznego do masy z tym ładunkiem związanej. Drugie prawo F a r a d a y'a uczy nas, że 96500 kulombów [1]) wyzwala 1.008gr. wodoru, 6.94 gr. litu, 8 gr. tlenu i t. d. Dzieląc 96500 kul. przez masę wyzwalaną, otrzymujemy stosunek $e$ do $m$, — dla każdego jonu inny; największą wartość posiada, oczywiście, $e/m$ w przypadku wodoru i równa 95730 kul./gr. lub 9573 jedn. elektromagnetycznych bezwzględnych na gram.




Rys. 172.
Bieg prostolinjowy promieni katodowych.

Jak pokażemy niżej można wyznaczyć wartość stosunku $e/m$ i w przypadku elektronów. Ten pomiar po raz pierwszy (r. 1897) został zrealizowany przez J. J. T h o m s o n a [2]). Liczby, otrzymane przez tego badacza, dziś mają już tylko znaczenie historyczne. Dały one raczej rząd wielkości, niż wartość prawdziwą stosunku $e/m$. Liczne nowsze badania eksperymentalne, wykonane udoskonalonemi metodami, doprowadziły do wyniku, że

$$\frac{e}{m_0} = 1.766 \times 10^7 \text{ jednostek elektrom. } C.\ G.\ S.$$ [3])

Uderzającem jest, że wartość stosunku $e/m$ jest w przypadku elektronów 1848 razy większa, niż w przypadku jonów wodorowych.

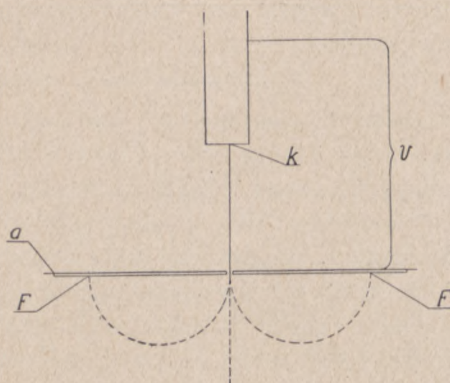
---

[1]) Dokładniej 96494 kulomby.

[2]) A. S c h u s t e r już w r. 1890 próbował dokonać pomiaru stosunku $e/m$; nie udało mu się jednak przezwyciężyć trudności doświadczalnych.

[3]) Przez $m_0$ rozumiemy masę spoczywającego elektronu; wiemy już (str. 406), że masa elektronów zmienia się wraz z prędkością wg. wzoru L o r e n t z a - E i n s t e i n a.

Ważkie argumenty przemawiają stanowczo za tem, że ładunek elektryczny jonu wodorowego jest taki sam, jak i ładunek elektronu (p. str. 560 i 566). Wobec tego liczniki ułamków $e/m$ są w obu przypadkach jednakowe; wypływa stąd wniosek, że $m_0$, masa elektronu powolnego, jest 1848 razy mniejsza od masy atomu wodorowego.



Rys. 173.
Przyśpieszanie promieni katodowych, wytworzonych przez żarzącą się katodę.

Szereg prac, wykonanych w w. XX-tym, potwierdził całkowicie stałość ładunku elektronów do ich masy i niezależność tej liczby od sposobu otrzymywania promieni elektronowych. Oto kilka wartości $e/m$, które uważane są[1]) za najdokładniejsze. A. Bestemeyer (1911), stosując promienie katodowe, wysyłane przez żarzącą się katodę, otrzymał $e/m = 1.766 \times 10^7$; M. Malassez (1911), posługując się zwykłą rurą próżniową, znalazł $1.769 \times 10^7$; Neumann i Schäfer (1914 i 1916), używając promieni β radu, otrzymali $e/m = 1.765 \times 10^7$. Zgodność liczb jest doskonała, jeżeli uwzględnić trudności pomiarów tego rodzaju. Należy więc uważać za rzecz eksperymentalnie stwierdzoną, że wszelkie atomy zawierają identyczne elementy składowe w postaci elektronów.

Ze względu na olbrzymią doniosłość pomiaru stosunku $e/m$ zatrzymamy się na krótko na dwu najważniejszych metodach wyznaczania tej liczby. Zrozumienie tych metod da nam później klucz do wyjaśnienia całego szeregu kwestyj, dotyczących wewnętrznej struktury atomu. Metody wyznaczania stosunku $e/m$ sprowadzają się do badania ruchu elektronów w polu elektrycznem i magnetycznem. W rozważaniu przebiegu zjawisk musimy wprowadzić trzy stałe, charakteryzujące elektrony: 1) ich ładunek — $e$; 2) ich masę — $m$; 3) prędkość — $v$ [2]). Te nieznane nam stałe są niewiadomemi równań. Ponie-

[1]) Opieramy się na monografji W. Gerlacha w 22-gim tomie Handbuch d. Physik (1926), str. 73 i 81.

[2]) Prędkość promieni katodowych mierzył metodą bezpośrednią w roku 1897 E. Wiechert. Otrzymał wartości zgodne co do rzędu wielkości z temi, które się otrzymuje metodami pośredniemi. Po Wiechercie nikt badań analogicz-

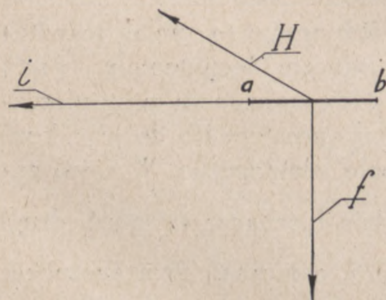
waż eksperymenty prowadzą tylko do dwu równań, trzeba przeto zrezygnować ze znalezienia zosobna $e$, $m$ i $v$, a poprzestać na wyznaczeniu stosunku $e/m$ i $v$.

Wyprowadzimy wzory na ruch elektronu: a) gdy pole elektryczne działa w kierunku biegu promieni katodowych, powiększając ich pęd; b) gdy działa na nie pole magnetyczne prostopadłe do kierunku ruchu; c) gdy pole elektryczne ma linje sił prostopadłe do kierunku ruchu elektronów.

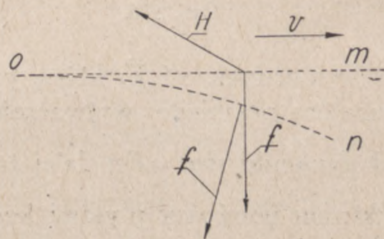
**Przypadek a.** Przypuśćmy, że żarząca się katoda $k$ (rys. 173) wysyła elektrony, które pomiędzy $k$ i anodą $a$ poddane są działaniu przyśpieszającego pola, spowodowanego przez różnicę potencjałów $V$. Praca sił elektrycznych przemienia się w energję kinetyczną elektronu; w myśl wyżej wprowadzonych oznaczeń:

$$Ve = \frac{1}{2} mv^2 \quad \dots\dots\dots \quad (1)$$

**Przypadek b.** Wiązkę elektronów o prędkości $v$ poddajemy działaniu jednorodnego pola magnetycznego o natężeniu $H$. Poruszające się elektrony równoważne są prądowi elektrycznemu, skierowanemu



Rys. 174.
Kierunek siły elektromagnetycznej.



Rys. 175.
Oddziaływanie siły elektromagnetycznej na prom katodowe.

(ze względu na ładunek elektronów) ku katodzie. Wiadomo, że na element prądu długości $\Delta s$, znajdujący się w prostopadłem doń polu

nych nie podejmował. Liczby Wiecherta nie mogły się odznaczać wielką dokładnością ze względu na stosunkowo niski stan ówczesnej techniki eksperymentalnej.

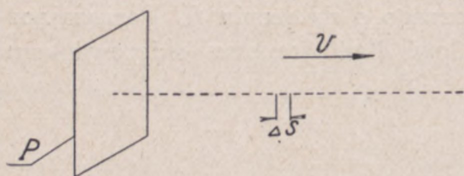
magnetycznem o natężeniu $H$, działa t. zw. siła elektromagnetyczna $f$, której kierunek pokazuje rys. 174 $a$; siła ta wyraża się wzorem

$$f = i \, . \, \Delta s \, . \, H, \quad (\Delta s = ab \text{ na rysunku})$$

gdzie $i$ oznacza natężenie prądu. Promienie katodowe są jakby giętkim ruchomym przewodnikem; pod wpływem siły $f$ odchylają się od biegu prostolinjowego. Stała siła $f$, normalna do każdego elementu toru, stanowi siłę dośrodkową; w tych warunkach mechanicznych tor, zakreślany przez promienie katodowe, będzie łukiem koła (rys. 175). Można łatwo dowieść [1]), że iloczyn $i \, . \Delta s$ w przypadku prądu elektronowego $= ve$, wobec tego $f = veH$; $f$ stanowi również siłę dośrodkową, mamy więc:

$$veH = \frac{mv^2}{R}, \text{ a po skróceniu } \frac{mv}{R} = eH \quad . \; . \; . \quad (2)$$

**Przypadek c.** Wiązkę elektronów, posiadających prędkość $v$ w kierunku osi $X$-ów (rys. 177), poddajemy działaniu jednorodnego pola elektrycznego o natężeniu $E$; na elektron, którego ładunek oznaczyliśmy przez $e$, działa siła $Ee$. Mechanicznie przypadek ten jest zupełnie analogiczny do ruchu ciała, rzuconego poziomo i poddanego działaniu jednorodnego pola grawitacyjnego. Odchylenie $y = \frac{1}{2} wt^2$, gdzie $w$ oznacza przyśpieszenie w kierunku osi $Y$, którą prowadzimy prostopadle do płyt kondensatora płaskiego, wytwarzającego pole elektryczne. W myśl zasad dynamiki $mw = Ee$; dalej $t = \frac{l}{v}$, gdzie $l$ oznacza długość drogi elektronu pomiędzy płytami kondensatora, a $t$ czas. Tym sposobem



Rys. 176.

---

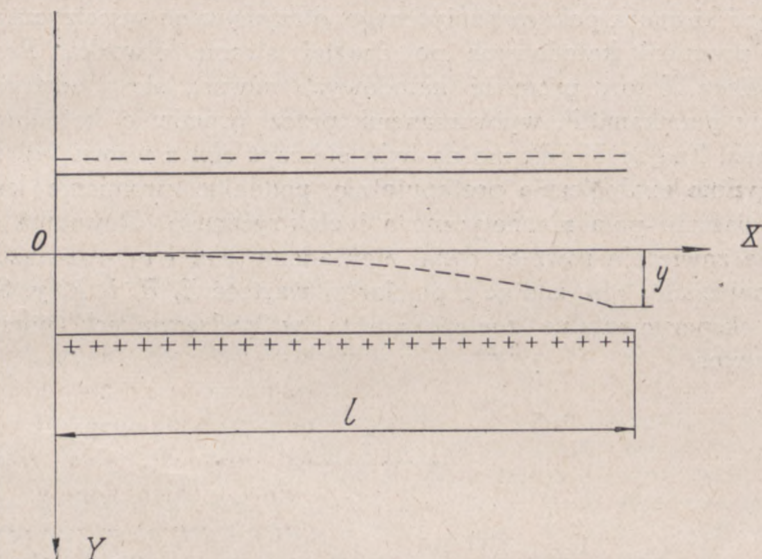
[1]) Niżej podane rozważanie szybko prowadzi do celu. Wyobraźmy sobie szereg elektronów, biegnących z prędkością $v$ w odstępach $\Delta s$ (rys. 176). Liczba elektronów, przechodzących w ciągu 1 sek. przez przekrój $p$, równa się $\frac{v}{\Delta s}$. Jeżeli każdy elektron niesie ładunek $e$, ilość elektryczności, przechodząca na 1 sek. przez $p$, równa jest $e . \frac{v}{\Delta s}$; z drugiej strony, w myśl znanej definicji, jest to natężenie prądu $i$. A zatem:

$$e \, . \, \frac{v}{\Delta s} = i \, ; \quad i \, . \Delta s = e \, . \, v,$$

jak — w tekście.

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{E \cdot e}{m} \cdot \left(\frac{l}{v}\right)^2 \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

W badaniach nad promieniami katodowemi realizuje się najczęściej jednocześnie bądź przypadek a i b, bądź b i c. Inaczej mówiąc, albo mierzy się dokładnie różnicę potencjałów $V$, nadającą elektronom prędkość $v$, i poddaje się elektrony następnie działaniu pola magnetycznego $H$, bądź też poddaje się elektrony działaniu pól elektrycznego i magnetycznego.




Rys. 177.
Odchylenie promieni katodowych w polu elektrycznem.

Rozpatrzmy bliżej pierwszą metodę. Stosujemy równania 1-sze i 2-gie; dzieląc je przez $m$, otrzymujemy

$$V \cdot \frac{e}{m} = \frac{1}{2} v^2 \quad \text{i} \quad \frac{v}{R} = \frac{e}{m} \cdot H.$$

Rugując $v$, łatwo znajdziemy, że

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{H^2 R^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

Prawa część równania zawiera wielkości, które mogą być zmierzone; znalazłszy $e/m$, podstawiamy jego wartość w jedno z równań wyjściowych, otrzymujemy wówczas prędkość promieni $v$. J. Classen

(r. 1908) zrealizował zapomocą tej metody pomiary w sposób, który wyjaśnia rys. 173. Odstęp pomiędzy żarzącą się katodą *k* i anodą *a* wynosił ok. 1 mm.; na tej drodze promienie katodowe doznawały przyśpieszenia pod wpływem pola o napięciu $V = 1000$ wolt. W anodzie był otworek o śr. 1 mm., przez który przechodziły promienie katodowe. Wielka zwojnica *M*, niepokazana na rysunku, wytwarzała pole magnetyczne, prostopadłe do płaszczyzny papieru. Pod wpływem pola promienie katodowe zakreślały półkole i padały na kliszę w punkcie *F*. Zmieniając kierunek prądu w zwojnicy, a więc i kierunek pola magnetycznego, otrzymywano symetryczne półkole promieni katodowych po drugiej stronie otworka. Promień krzywizny *R* toru promieni katodowych równał się $\frac{1}{4}$ odstępu pomiędzy plamkami *F*, wytwarzanemi przez promienie katodowe na kliszach. Znając *V* i *H*, można było obliczyć $e/m$ z wzoru (4).

Zupełnie analogicznie postępuje się, poddając promienie katodowe działaniu pola magnetycznego i elektrycznego. Równania 2-gie i 3-cie zawierają również dwie niewiadome $e/m$ i $v$; rozwiązujemy je i obliczamy $e/m$, znając z pomiarów wartość $E$, $H$, $l$, $R$, $y$. Szczegóły eksperymentalne znaleźć można w podręcznikach pomiarów fizycznych.

---

Rozdział II.

## ŁADUNEK ELEMENTARNY [1]).

PRZYJMUJĄC hipotezę atomistyczną, musimy się również zgodzić na to, że z atomami są związane pewne elementarne, niezmienne ładunki elektryczne, inaczej mówiąc, że struktura elektryczności, jak i struktura materji, jest nieciągła [2]). Istotnie, jeżeli 96500 kulombów elektryczności, jak jak wynika z 2-giego prawa F a r a d a y a, wyzwala po gram - atomie dowolnego pierwiastka jednowartościowego i jeżeli, jak tego żąda atomistyka, gram - atomy wszelkich pierwiastków zawierają *jednakową liczbę* atomów indywidualnych [3]), to jasnem jest, że wszelki atom niesie ten sam ładunek elek-

---

[1]) Opracowując ten rozdział, korzystaliśmy głównie z monografji R. A. M i l l i k a n a p. n. „The electron", The University of Chicago Science Series, 1926. Czytelnika, któryby pragnął zapoznać się szczegółowiej z zagadnieniem, odsyłamy do wyczerpującego artykułu D-ra A. K a r p o w i c z a, umieszczonego w wydawnictwie „Fizyka współczesna". (Fizyka i Chemja w Szkole, r. 1929, t. III, 1, Książnica-Atlas). Spór pomiędzy M i l l i k a n e m a E h r e n h a f t e m zreferował prof. M. G r ą t o w s k i w r. 1924 w „Przeglądzie Matem.-Fizycznym" (str. 1 — 23).

[2]) Pojęcie o elementarnym ładunku elektrycznym wprowadził G. J o h n s t o n e - S t o n e y, który w prelekcji, wygłoszonej w r. 1874 przed Brytyjskiem Stworzyszeniem Nauk, rozwijał ideę o atomistycznej strukturze elektryczności, wynikającej ze zjawisk elektrolizy. W roku 1891 S t o n e y wprowadził termin „elektron" dla oznaczenia ładunku elementarnego. Nie mniej jasno podkreślił konieczność wprowadzenia atomów elektryczności dodatniej i ujemnej H e l m h o l t z, wygłaszając w Londynie odczyt (Faraday - Lecture) w r. 1881.

[3]) Czytelnik, któremu się to wydaje niezupełnie jasnem, zechce przeczytać poniższą uwagę. Stosunek mas (ciężarów) atomowych, które nam daje chemja, jest stosunkiem mas poszczególnych atomów. Ciężar atomowy wodoru = 1.008, a ciężar atomowy sodu — 23.00; znaczy to, że masa atomu sodu tak się ma do masy atomu wodoru, jak — 23.00 : 1.008. Z drugiej strony gram - atomem nazywamy ilość *gramów* pierwiastka, równą ciężarowi atomowemu. Założmy, że gram - atomowi pewnego pierwiastka odpowiada masa $m_1$, że masa pojedyńczego atomu = $\mu_1$ i liczba atomów, zawartych w gram - atomie = $N_1$. W takim razie

tryczny. Oznaczmy stałą Faraday'a (= 96500 kul.) przez $F$, liczbę atomów w gram - atomie, t. zw. stałą Avogadra (uczeni niemieccy używają terminu „stała Loschmidta"), przez $N$, ładunek poszczególnego atomu — przez $e$, a będziemy mieli równość:

$$Ne = F \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Różne teorje fizyczne, opierające się na koncepcjach atomistycznych, pozwalają obliczyć stałą $N$; otrzymuje się, naogół, liczby bardzo zgodne, czy to opierając się na zjawiskach mechanicznych, interpretowanych na podstawie teorji kinetycznej gazów, czy też na zjawiskach optycznych. Zatrzymajmy się dla przykładu na $N = 6.09 \times 10^{23}$, otrzymanem przez Westgrena[2]) w obserwacjach nad osiadaniem kulek zawiesin, wykonanych metodą Perrin'a (p. t. I niniejszej książki). Posługując się jednostkami elektrostatycznemi (1 kul. = = $3 \times 10^9$ j. el. stat.), znajdziemy z wzoru (1) $e = 4.75 \times 10^{-10}$ jedn. el. stat.

Argumentacja, opierająca się na zjawiskach elektrolizy, posiada moc nieodpartą. Możnaby wszakże nie uważać za rzecz pewną, że ten sam ładunek elementarny występuje i na całym obszarze zjawisk elektrycznych, poza przewodnictwem elektrolitycznem; możnaby mniemać, choć to jest wysoce nieprawdopodobne, że zjawiska elektrolizy dają nam tylko pewną średnią, statystyczną wartość ładunków indywidualnych, niesionych przez atomy; dalej, możnaby mieć wątpliwości, czy metody pośrednie wyznaczania stałej Avogadra zasługują ne bezwzględne zaufanie, gdyż opierają się one, bądź - co - bądź, na licznych hipotezach pomocniczych. Pomiędzy rokiem 1897 a 1903 szkoła fizyków, którą stworzył w Cambridge

---

$$m_1 = N_1 \mu_1.$$

Zupełnie analogicznie dla innego jakiegoś pierwiastka będziemy mieli

$$m_2 = N_2 . \mu_2.$$

Dzieląc te równania, znajdujemy

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{N_1}{N_2} . \frac{\mu_1}{\mu_2} .$$

Z tego, cośmy wyżej powiedzieli, wynika jasno, że $\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{m_1}{m_2}$; skracając, otrzymujemy zatem $N_1/N_2 = 1$ i $N_1 = N_2$; a zatem gram - atomy wszelkich pierwiastków zawierają jednakową liczbę atomów.

[2]) Podajemy liczbę Westgrena za A. Eucken'em: Lehrbuch d. chemischen Physik, Lipsk, 1930, s. 73.

J. J. Thomson, ogłosiła szereg rozpraw, dotyczących wyznaczania ładunku elementarnego. Metody, opracowane w Cambridge, wyróżniają się śmiałym polotem myśli, pomysłowością, oryginalnością. Choć nie dały one dokładnej wartości *e*, stały się jednak w tej dziedzinie punktem wyjścia dla wszystkich badań późniejszych. We wszystkich pracach, wykonanych bądź przez samego J. J. Thomsona, bądź pod jego kierunkiem (J. S. Townsend, H. A. Wilson), wytwarzano w przestrzeni zamkniętej jony gazowe, na których następnie skraplała się przesycona para wodna. Mgła, składająca się z mikroskopijnych naelektryzowanych kropelek, opadała; szybkość opadania pozwalała wnioskować o rozmiarach kropelek, a więc — i o masie każdej z nich. Dzieląc masę wody, zawartej w obłoczku, przez masę pojedyńczej kropelki, znajdowano liczbę kropel, a węc i — jonów. Metody elektryczne pozwalały wyznaczyć całkowity ładunek, niesiony przez krople mgły. Dzieląc całkowity ładunek przez liczbę jonów, otrzymywano ładunek elementarny.

Zrealizowanie tej idei nastręczało olbrzymie trudności doświadczalne, które udało się przezwyciężyć pomysłowością i znacznym nakładem pracy. Niemniej, metoda opierała się na szeregu założeń, które nie mogły być ściśle spełnione w doświadczeniu. Zakładała ona np., że wszystkie kropelki mgły mają jednakowe rozmiary, że na każdym z jonów osiada osobna kropelka, że spadanie kropelek podlega ściśle prawu Stokes'a (p. niżej równ. 8-me na str. 564). Te trudności zasadnicze nie pozwoliły otrzymać wskazaną metodą ścisłej wartości ład. elementarnego.

W roku 1908 i 1909, próbując udoskonalić metody, stworzone w Cambridge, zauważył R. A. Millikan[1]), że obserwowanie obłoczka, skroplonego na jonach, można zastąpić skutecznie obserwowaniem pojedyńczych kropelek i że ten sposób może dać wyniki nieporównanie pewniejsze od dawnego, gdyż zastępuje badanie prze-

[1]) Robert Andrews Millikan urodził się w r. 1868 w Stanach Zjednoczonych A. P. Studja uniwersyteckie zakończył w r. 1895 w Columbia University, gdzie otrzymał stopień doktora filozofji. Następny rok spędził w Niemczech, w Berlinie i Getyndze. Po powrocie do Ameryki został zrazu asystentem, potem (od r. 1910 do 1921) profesorem w Chicago. W roku 1921 został dyrektorem laboratorjum fizycznego w Instytucie Politechnicznym miasta Pasadeny w Kalifornji.

Z pomiędzy prac eksperymentalnych Millikana najważniejsze były jego badania nad ładunkiem elementarnym, nad zjawiskiem fotoelektrycznem (p. str. 339 tej książki), nad najkrótszemi falami ultrafioletu (str. 451) i nad promieniowaniem kosmicznem (str. 483). W roku 1923 otrzymał nagrodę Nobla.

ciętnych wartości olbrzymiej liczby cząstek badaniem indywidualnem, pozwalającem ściśle śledzić historję danej kropelki. Ostateczna postać metody, opracowanej przez Millikana, była następująca. Zapomocą rozpylacza wytwarza się drobniutkie kulki cieczy, np. oleju, o średn. rzędu 0.001 mm. Kulki te w niewielkiej ilości dostają się pomiędzy okładki dużego kondensatora płaskiego (średn. płyt — około 22 cm., odstęp pomiędzy niemi ok. $1^1/_2$ cm.), które można łączyć z końcówkami baterji akumulatorów, wytwarzając

Rys. 178.
Badanie ładunku kropelek w polu elektrostatycznem (Millikan).

silne pole elektryczne $E$. Kiedy niema pola elektrycznego, kulka o masie $m$ spada pod wpływem siły ciężkości $= mg$. Przypuśćmy, że kulka jest naelektryzowana dodatnio i niesie ładunek $e_n$; jeżeli pole jest dostatecznie silne i skierowane do góry (p. rys. 178; na rysunku $Ee_n = mg$), na kulkę naelektryzowaną będzie działać siła $Ee_n - mg$, równeż ku górze skierowana. Jeżeli kulki są małe, ich ruch będzie jednostajny, a to — wskutek oporu powietrza. Tak eksperymentalnie, jak i teoretycznie, można dowieść, że mała kulka, poruszająca się w ośrodku lepkim, doznając oporu proporcjonalnego do prędkości ruchu, nader szybko nabiera ruchu jednostajnego [1]); prędkość ruchu kulki jest proporcjonalna do siły na nią działającej. Oznaczając siłę przez $f$, prędkość przez $v$, a — przez $C$ spółczynnik proporcjonalności, mamy

$$f = C.v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Przypuśćmy, że wykonywamy dwa doświadczenia; za pierwszym razem wyłączamy pole elektryczne i poddajemy kulkę działaniu samego pola grawitacyjnego. Porusza się ona wówczas z prędkością $v_0$, która, zgodnie z wzorem (2), czyni zadość równaniu

$$mg = Cv_0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

[1]) Uderzający przykład daje nam pył, zawieszony w atmosferze. Bardzo drobne pyłki godzinami i dniami całemi mogą się utrzymywać w powietrzu — tak wolne jest ich spadanie.

Wytwarzając dość silne pole elektryczne, odpowiednio skierowane, i uważając teraz prędkość $v$ za dodatnią, gdy jest skierowana w górę (rys. 178), mamy

$$Ee_n - mg = Cv \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

Dzieląc równanie 4-te przez 3-cie, otrzymujemy po kilku przeróbkach:

$$e_n = \frac{mg}{E \, . \, v_0}(v + v_0) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Zwrócimy teraz uwagę czytelnika na pochodzenie ładunku kulki. Kulka elektryzuje się przy rozpylaniu na skutek tarcia. Pozatem jednak, jak dostrzegł Millikan (ta drobna obserwacja była punktem wyjścia dla niezwykle ważnych badań), kulka, poruszając się w przestrzeni zawierającej jony, chwyta to jony dodatnie, to jony ujemne, zmieniając przy tem swój ładunek, a nie zmieniając masy.

Ustala się ten fakt, obserwując kulkę oliwy zapomocą lunety krótkoogniskowej. Kulkę oświetla się przytem ultramikroskopowo, t. j. rzuca się na nią cienką a silną wiązkę promieni świetlnych i obserwuje się prostopadle do biegu promieni oświetlających tak, jak się to czyni, kiedy się chce zauważyć pył w powietrzu, gdy światło słońca wdziera się do zaciemnionego pokoju przez szpary w okiennicach. Kulka, która rozprasza promienie padające, wydaje się wtedy obserwatorowi jasną gwiazdką na ogólnem tle ciemnem. Umieszczając poziome nici w okularze lunety, można badać prędkość ruchu kulki. Obserwując kulkę w polu elektrycznem, łatwo można stwierdzić, że zmienia ona skokami swą prędkość, gdy się znajduje w powietrzu zawierającem jony, — widocznie na skutek zmiany ładunku. Prędkość spadania kulki, po wyłączeniu pola elektrycznego, pozostaje wciąż jednakowa, masa kulki nie zmienia się zatem. Można to przewidzieć a priori, bacząc, że masa jonów jest znikomo mała w porównaniu z masą kulki; jony są amikroskopowe, gdy kulkę można badać zapomocą słabego mikroskopu. Przypuśćmy, że dzięki przystawaniu jonów kulka oleju zmienia swój ładunek i że stanie się on równym $e_{n'}$; kulka będzie wówczas nabywać w polu elektrycznem prędkości $v'$, i analogicznie do wzoru (5), będziemy mogli napisać

$$e_{n'} = \frac{mg}{E \, . \, v_0}(v' + v_0) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Odejmując od 6-go równania 5-te, znajdujemy:

$$e_{n'} - e_n = \frac{mg}{E \cdot v_0} \cdot (v' - v) \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

Po prawej stronie równania czynnik $\frac{mg}{Ev_0}$ jest wielkością stałą; wynika stąd, że zmiany ładunku są proporcjonalne do zmian prędkości. Jeżeli więc istnieje ładunek elementarny, wszelkie zmiany ładunku $e_{n'} - e_n$ powinny zachodzić skokami i powinny się równać całkowitej wielokrotnej określonej liczby; odpowiednio do tego powinno się obserwować raptowne skoki prędkości kulek, znajdujących się w polu $E$, i zmiany prędkości winny się dać wyrazić jako wielokrotności pewnej liczby. Ten właśnie fakt stwierdzono z całą ścisłością. *Prędkość zmienia się w sposób nieciągły; zmiany prędkości są wielokrotnością określonej liczby.* Taki charakter zjawiska występował stale w niezliczonych doświadczeniach, wykonywanych w najrozmaitszych warunkach eksperymentalnych; należy więc uważać atomistyczną strukturę elektryczności za stwierdzonną ponad wszelką wątpliwość [1].

Pozostawało jednak ważne zadanie znalezienia liczbowej wartości ładunku elementarnego. Lewa część równania siódmego $= k \cdot e$, gdzie $k$ jest pewną liczbą całkowitą, a $e$ szukanym ładunkiem elementarnym. Po prawej stronie mamy wielkości, dające się zmierzyć bezpośrednio, oprócz masy mikroskopowej kulki oleju. Masę możemy znaleźć pośrednio, obserwując prędkość spadania kulki w polu grawitacyjnem. G. Stokes dowiódł teoretycznie, że na kulkę o promieniu $a$, poruszającą się z prędkością $v_0$ w ośrodku, którego spółczynnik lepkości $= \eta$, działa siła oporu równa $6\pi a \eta v_0$. Ta siła musi równoważyć przyśpieszające działanie siły ciężkości, a więc

$$mg = \tfrac{4}{3}\pi a^3 \cdot \rho \cdot g = 6\pi a \eta v_0 \,; \quad a^2 = \frac{9\eta v_0}{2g\rho} \quad \ldots \quad (8)$$

gdzie $\varrho$ oznacza gęstość kulki (pozorną przy uwzględnieniu prawa Archimedesa). Równanie powyższe pozwala znaleźć promień kulki, jeżeli znana jest jej gęstość, gęstość ośrodka, jego lepkość i prędkość ruchu kulki w ośrodku. Mając promień kulki, można obliczyć jej masę $= {}^4/_3 \pi a^3 \cdot \varrho$, a dolnej (wzór 7) $e_{n'} - e_n = ke$, — wielokrotność ładunku elementarnego. Okazuje się, że wszystkie wielokrotności

[1] Istnieje powszechna zgoda, że krytyka F. Ehrenhafta, opierająca się na odmiennych od rezultatów Millikana wynikach szkoły wiedeńskiej, była nieuzasadniona i że prace fizyków wiedeńskich zawierały błędy eksperymentalne.

znalezione dzielą się przez pewną najmniejszą wartość ładunku, jaką można było obserwować w eksperymentach. Tę wartość przyjmujemy za ładunek elementarny $e$; Millikan znajduje

$$e = (4.774 \pm 0.005) \times 10^{-10} \text{ jedn. el. stat. } C.\ G.\ S.,$$

$$\text{i } N \text{ (liczbę Avogadra)} = 6.06 \times 10^{23}$$

W stosowaniu prawa Stokesa do b. małych kulek napotyka się jednak trudność zasadniczą. Wyprowadzając swe prawo, zakładał Stokes, że kulka porusza się w ośrodku ciągłym. Jeżeli kulka jest stosunkowo duża, można pominąć nieciągłość ośrodka, wynikającą z jego struktury molekularnej. Inaczej jednak przedstawia się sprawa w przypadku kulek tego rzędu, jakie były stosowane w doświadczeniach Millikana. Wypadło wobec tego, na drodze systematycznych prób, znaleźć empirycznie poprawkę, której wymaga prawo Stokes'a przy zmniejszaniu się średnicy kulek. Dopiero po wprowadzeniu tej poprawki, otrzymał Millikan we wszystkich serjach doświadczeń identyczne wartości ładunku elementarnego.

Empiryczna poprawka, wprowadzona przez Millikana, do prawa Stokes'a, nie powinna osłabiać zaufania do liczby przezeń otrzymanej. Zauważymy przedewszystkiem, że liczba jego jest niemal identyczna z liczbą, znalezioną na mocy zjawisk elektrolizy (p. str. 560). Dalej, jest ona zgodna z pomiarami ładunku elementarnego, opartemi na liczeniu cząstek $\alpha$. Pomiary tego rodzaju były wykonane przez Rutherforda i Geigera (1908) i przez Regenera (1909). Polegały one na tem, że wyznaczano całkowity ładunek, wyrzucany przez preparat promieniotwórczy w postaci cząstek $\alpha$ w obrębie danego małego kąta bryłowego; następnie liczono, ile cząstek $\alpha$ wysyła dany preparat w ciągu tego czasu w obrębie tego samego kąta. Liczenia dokonywa się w ten sposób, naprzykład (Regener), że się obserwuje na ekranie fluoryzującym błyski (scyntylacje), które wytwarza zosobna każda uderzająca w ekran cząstka alfa. Dzieląc całkowity ładunek przez liczbę cząstek $\alpha$, otrzymuje się ładunek pojedyńczej cząstki. Ponieważ cząstka alfa, jako jądro atomu helu, niesie podwójny ładunek elementarny, liczbę znalezioną należy jeszcze podzielić przez dwa. W ten sposób Regener otrzymał $e = 4.79 \times 10^{-10}$, a Rutherford i Geiger, którzy stosowali elektryczną metodę liczenia cząsteczek, — $4.65 \times 10^{-10}$. Liczby, znalezione tą metodą nie mogą być b. dokładne ze względu na trudności eksperymentów. Potwierdzają one całkowicie badania Millikana.

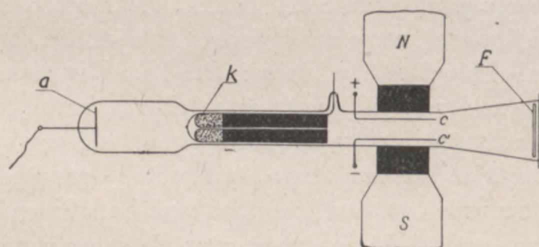
W pracach swych stwierdził Millikan, między innemi, że *ładunek elektronu równy jest ładunkowi elementarnemu.* Umieszczał w tym celu kuleczki oleju w powietrzu nader rozrzedzonem, skierowując na nie wiązkę promieni Röntgena. Promienie Röntgena, padające na ciała materjalne, wyzwalają elektrony fotoelektryczne; w gazie rozrzedzonym liczba jonów, powstających pod działaniem promieni $X$ jest bardzo mała tak, że kuleczki mają znikome szanse połączenia się z jonami. W tych okolicznościach obserwator stale stwierdzał, że kuleczki oleju traciły ładunek ujemny, i strata odpowiadała ładunkowi elementarnemu. Ponieważ, jak się pokazuje (str. 560), jony jednowartościowe również niosą ładunek elementarny, przeto wniosek nasz (str. 554), dotyczący stosunku masy elektronu do masy atomu wodoru, możemy uważać za ugruntowany eksperymentalnie.

Stała $e$ jest w teorji atomu wielkością zasadniczą. Znajomość wartości liczbowej $e$ jest niezbędna we wszelkich obliczeniach, związanych z fizyką atomu.

## Rozdział III.

## PROMIENIE ELEKTRYCZNOŚCI DODATNIEJ. IZOTOPY.

PROMIENIE katodowe, jak wiemy, są elektronami, posiadającemi ładunek ujemny; w zwykłej rurce próżniowej otrzymują one pęd w pobliżu katody, gdzie istnieje ogromny spadek potencjału. Domyślano się, że cząstki naładowane elektrycznością dodatnią biegną w stronę katody. Promienie elektryczności dodatniej po raz pierwszy




Rys. 179.
Schemat urządzenia rury do badania odchylenia promieni kanałowych w polu elektrycznem i magnetycznem.

otrzymał w roku 1886 E. Goldstein[1]). Zastosował on w tym celu prosty i nader pomysłowy sposób: przeborował otworki w katodzie; cząstki naładowane elektrycznością dodatnią, otrzymujące znaczną prędkość w okolicy katody, przebiegały z rozpędu przez te otworki (kanały) i za katodą wytwarzały wiązkę promieni, biegnących po linjach prostych. Ten sposób wytwarzania promieni kanałowych ilustruje rysunek 179, który schematycznie przedstawia rurę,

[1]) Eugenjusz Goldstein (fizyk niemiecki, ur. w r. 1850) położył wielkie zasługi w dziedzinie badań nad przechodzeniem elektryczności przez gazy rozrzedzone.

jakiej się używa do badania odchylenia promieni kanałowych w polu elektrycznem i magnetycznem, co pozwala wyznaczyć charakterystyczny stosunek $e/m$ (p. str. 553). Właściwą rurę do wyładowań mamy po lewej ręce; $a$ oznacza anodę, $k$ — katodę. Ta ostatnia jest metalowa, masywna i ma po środku nader wąski kanał, często o średnicy rzędu kilku dziesiątych milimetra. Po przejściu przez kanał [1]) promienie kanałowe przechodzą do przestrzeni obserwacyjnej, gdzie ulegają odchyleniu pod wpływem pola elektrycznego i magnetycznego.

Pomiary wykazują, że stosunek $e/m$ dla cząstek promieni kanałowych posiada wartości tego samego rzędu, co i wartości spotykane w przypadku jonów elektrolizy. Jak i tam (p. str. 553), największą wartość $e/m$ otrzymuje się, wytwarzając promienie kanałowe w wodorze, i wartość ta jest identyczna z liczbą otrzymaną w elektrolizie. Widać stąd, że cząstki promieni kanałowych są atomami posiadającemi ładunek dodatni; powstają one widocznie w ten sposób, że atom obojętny traci jeden lub kilka elektronów i otrzymuje ładunek dodatni, nie tracąc praktycznie na wadze, gdyż masa elektronu jest 1848 razy mniejsza od masy najlżejszego z atomów. Badania szczegółowe wykazały również, że promienie kanałowe są promieniami elektrycznemi o nader skomplikowanym charakterze, gdyż jony dodatnie mogą przybierać atomy obojętne, mogą też chwytać elektrony i przytem zobojętniać się częściowo, a nawet — przeładowywać. Dla ilustracji przytoczymy, że analiza promieni kanałowych, wytworzonych w wodorze, wykazała obecność cząstek sześciu różnych rodzajów: 1) atomów o ładunku dodatnim, 2) atomów obojętnych, 3) atomów o ładunku ujemnym, 4) molekuł $H_2$ o ładunku dodatnim, 5) molekuł obojętnych, 6) molekuł naelektryzowanych typu $H_3$.

Poddając promienie kanałowe jednoczesnemu działaniu pola elektrycznego i magnetycznego, możemy oddzielić od siebie jony różnych typów. Tak, naprzykład, mając atomy wodoru H i molekuły wodoru $H_2$ o tym samym ładunku elementarnym dodatnim, oddzielimy je od siebie, gdyż molekuły, posiadające dwukrotnie większą masę, będą odpowiednio słabiej odchylane, niż atomy. Zupełnie analogicznie będziemy mogli oddzielić atomy różnych pierwiastków, posiadające ładunki jednakowe. Tym sposobem pomiary w dziedzinie pro-

---

[1]) Tylko w rurach do pomiaru $e/m$ stosuje się kanały długie. W doświadczeniach o charakterze jakościowym wystarcza katoda, zrobiona z blachy, w której wierci się szereg otworków.

mieni kanałowych stanowią rodzaj analizy chemicznej, subtelniejszej od analizy zwykłej, gdyż dosięgającej indywidualnych atomów lub ich skupień, analizy, wymagającej do przeprowadzenia poszukiwań najminimalniejszych ilości ciała badanego. W opracowaniu tej nowej metody odróżniania atomów położył największe zasługi J. J. Thomson w Cambridge. W roku 1912, posługując się udoskonalonym przyrządem, wykrył on w neonie istnienie atomów o ciężarze 20 i 22, gdy ciężar atomowy samego neonu wynosi 20,2. W tablicy układu perjodycznego niema pierwiastka o ciężarze atomowym 22. Thomson wypowiedział śmiałą hipotezę, że wykryte przezeń cząstki stanowią, zapewne, nową odmianę neonu.

Sprawa została ostatecznie wyjaśniona dopiero przez jednego z uczniów Thomsona, F. W. Astona[1]), który doprowadził analizę chemiczną zapomocą badania biegu promieni kanałowych w polu elektrycznem i magnetycznem do wysokiej precyzji i doskonałości. Ostatnio zbudowany[2]) przez Astona przyrząd, pozwala badać względne masy atomów z dokładnością do $^1/_{100}$%, a więc z dokładnością, która niezawsze jest osiągalna w analizie chemicznej. W wyniku swych badań doszedł Aston do dwu wniosków, posiadających kapitalną doniosłość dla fizyki i chemji: 1) znane nam pierwiastki są zawsze niemal mieszaninami kilku ciał prostych, izotopów, których ciężary atomowe grupują się koło ciężaru atomowego, znanego z danych zwykłej analizy chemicznej; 2) ciężary atomowe izotopów wyrażają się liczbami całkowitemi, jeżeli się założy, że ciężar atomowy tlenu = 16. Tak więc okazało się, że neon, zgodnie z przypuszczeniem J. J. Thomsona, jest mieszaniną atomów dwu rodzajów; jedne mają masę względną = 20, inne — 22; przedstawimy to symbolicznie, pisząc $Ne^{20}$ i $Ne^{22}$. Znany ciężar atomowy neonu 20,2 jest średnią wartością, wynikającą stąd, że, jak pokazują klisze, atomy $Ne^{22}$ stanowią tylko $^1/_9$ liczby atomów $Ne^{20}$. Zupełnie analogicznie znaleziono, że chlor jest mieszaniną dwu izotopów: $Cl^{35}$ i $Cl^{37}$; rtęć — jest mieszaniną sześciu składników o ciężarze atomowym 198, 199, 200, 201, 202 i 204, a cyna składa się (w/g pracy Astona z r. 1927) aż z 11-tu izotopów.

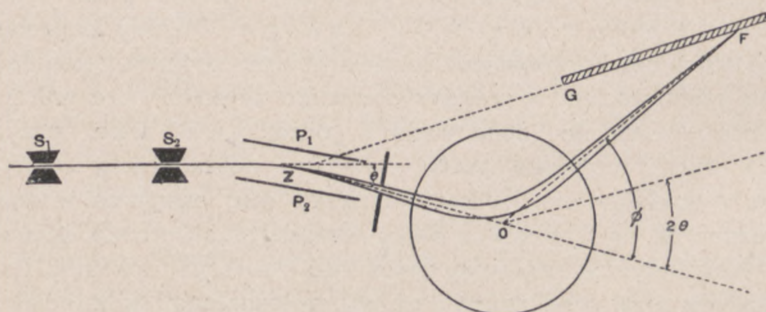
Wyniki badań Astona mogłyby budzić niewiarę, gdyby nie to,

---

[1]) Wyniki swych badań zebrał Aston w monografji: „Isotopes", ostatnie (2-gie) wyd. wyszło w Londynie w r. 1924.

[2]) F. W. Aston. A new mass-spectrograph and the whole number rule. Proceedings Roy. Society, r. 1927, t. 115, s. 487.

że zdołano stwierdzić na drodze czysto chemicznej istnienie izotopów ołowiu, analizując rudy ołowiane różnego pochodzenia (p. rozdz. VI-ty) i gdyby nie to, że istnienie izotopów wiąże się ściśle z faktami z dziedziny zjawisk promieniotwórczych. Niemożność oddzielenia na drodze chemicznej różnych odmian atomów danego pierwiastka wynika stąd, że wszystkie te odmiany posiadają identyczne własności chemiczne; wszystkie zatem powinny się znajdować w tej samej kratce perjodycznego układu. Stąd też pochodzi grecka nazwa izotopów, t. j. pierwiastków zajmujących to samo miejsce. Do zagadnienia tego wrócimy jeszcze w rozdziale, poświęconym promieniotwórczości.




Rys. 180.
Bieg promieni w spektrografie masowym Astona

Uderza fakt, że ciężary atomowe izotopów wyrażają się liczbami całkowitemi lub — bardzo mało różnemi od całkowitych[1]). Niegdyś (r. 1815) wypowiedział lekarz angielski Prout hipotezę, że wszyst-

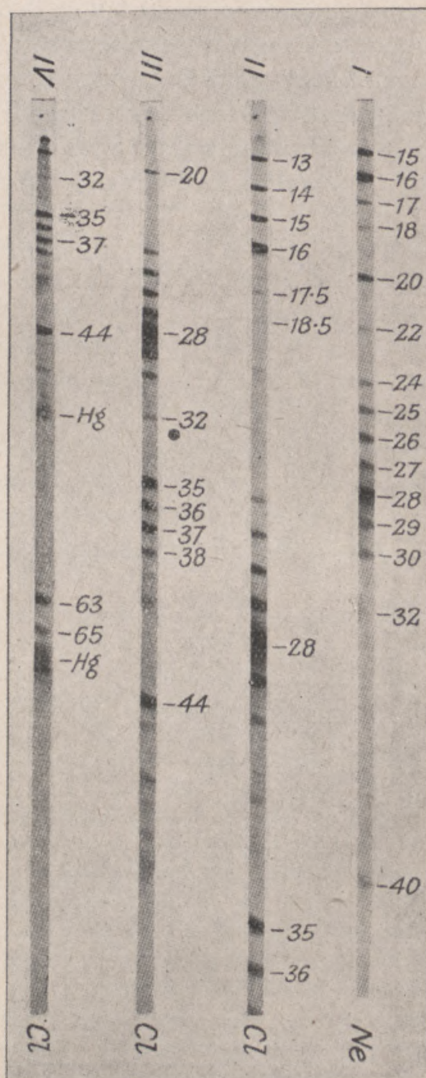
---

[1]) W swej pracy z roku 1927, posługując się udoskonalonym przyrządem, który pozwolił dziesięciokrotnie zmniejszyć błąd pomiarów, znalazł Aston, że ciężary atomowe wielu izotopów, na które poprzednio otrzymywał dokładnie całkowite liczby, wyrażają się liczbami ułamkowemi, naprzykład: $C$ — 12.0036, zamiast — 12.000; $N$ — 14.008, zamiast — 14.000; $Cl^{35}$ — 34.983; $Cl^{37}$ — 36.980 i t. p. Trafnie pisał Poincaré (Darrow, Contemporary Physics, 1927, s. 38): Si nos moyens d'investigation devenaient de plus en plus pénétrants, nous découvririons le simple sous le complexe, puis le complexe sous le simple, puis de nouveau le simple sous le complexe, et ainsi de suite, sans que nous puissions prévoir quel sera le dernier terme.

Cokolwiek dałoby się o tem powiedzieć, odchylenia od reguły liczb całkowitych są nader niewielkie, nie przewyższają 0.2%, za wyjątkiem wodoru, którego ciężar atomowy, wg. Astona, = 1.00778, w założeniu, że ciężar at. tlenu = 16.0000.

kie pierwiastki stanowią tylko zagęszczenie pewnej pramaterji, którą jest wodór. Myśl P r o u t a znalazła żywy oddźwięk. Dokoła tej sprawy powstała olbrzymia literatura. Hipotezę odrzucono ostatecznie, gdy się okazało, po wydoskonaleniu metod chemji analitycznej, że ciężary atomowe pierwiastków żadną miarą nie dadzą się sprowadzić do liczb całkowitych, jeżeli ciężar atomowy wodoru uważać za jednostkę. Do hipotezy P r o u t a wraca A s t o n; wydaje się ona dziś prawdopodobną, jeżeli zważyć, jak niewielkie są odchylenia ciężarów atomowych od liczb całkowitych. Rozwiniemy myśl A s t o n a niżej, w związku z zagadnieniem jądra atomowego.

Subtelna sprawa oddzielenia różnych odmian atomów danego pierwiastka wymagała stworzenia specjalnej skomplikowanej aparatury próżniowej. W badania swe[1]) włożył A s t o n olbrzymi zasób pracy i pomysłowości. Możemy tu tylko ogólnikowo wyjaśnić zasadę pomiarów, opierając się na schematycznym rysunku 180, przedstawjającym bieg promieni. Promienie kanałowe przechodzą przez dwie szpary $S_1$ i $S_2$ i cienką wiązką wpadają w obręb pola elektrycznego,




Rys. 181.

Zdjęcia otrzymane zapomocą spektrografu masowego A s t o n a. Na zdjęciu I-szem widzimy linje dwu izotopów neonu (20 i 22). Zdjęcia II, III i IV zawierają linje izotopów chloru (35 i 37); linje 36 i 38 odpowiadają molekułom HCl, powstającym przez połączenie wodoru z izotopowemi atomami chloru.

---

[1]) Uwieńczone nagrodą Nobla.

wytworzonego pomiędzy płytkami $P_1$ i $P_2$. Załóżmy na razie, że promienie składają się z jednakowych cząstek, które charakteryzuje określony stosunek $e/m$. Pomimo to, wiązka ulegnie rozszczepieniu, gdyż cząstki posiadają niejednakowe prędkości, a prędsze (podobnie, jak w przypadku kamienia rzuconego poziomo) będą mniej odchylane, niż wolniejsze. W przestrzeni kulistej, naznaczonej na figurze kołem, działa na promienie kanałowe pole magnetyczne, prostopadłe do płaszczyzny rysunku. Pole magnetyczne odchyla promienie w przeciwnym kierunku; warunki tak są dobrane, że promienie różnej prędkości znów się zbiegają w okolicy płyty fotograficznej ($F$). W różnych miejscach kliszy, przy jednoczesnem działaniu obu pól, będą się ogniskować wiązki, różniące się stosunkiem $m/e$. Otrzymuje się w ten sposób zdjęcia, przypominające widma linjowe optyki (rys. 181). Dla tej analogji nazwał Aston swój przyrząd spektrografem masowym.

---

## Rozdział IV.

## PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ.

**A. CIAŁA promieniotwórcze.** Równocześnie z badaniami fizyków angielskich, które doprowadziły do wyobrażenia o podzielności atomu, zostało dokonane we Francji w końcu w. XIX epokowe odkrycie ciał promieniotwórczych, ujawniających swe odrębne własności samorzutnym rozpadem pierwiastków. Tak więc na przełomie stuleci pod wpływem argumentacji nowych faktów upadło dawne podstawowe wyobrażenie atomistyki chemicznej w. XIX-go: atomy przestały być tworami niepodzielnemi, zawsze niezmiennemi. Powstała fizyka atomu, jako skomplikowanego układu o swoistej strukturze.

Zjawiska promieniotwórczości [1]) polegają na wysyłaniu przez pewne pierwiastki i ich związki promieniowań analogicznych do tych, jakie spotykamy przy wyładowaniach elektrycznych w rurkach z gazami silnie rozrzedzonemi, przyczem emisja promieni ciał radjoaktywnych jest niezależna od jakichkolwiek czynników zewnętrznych.

---

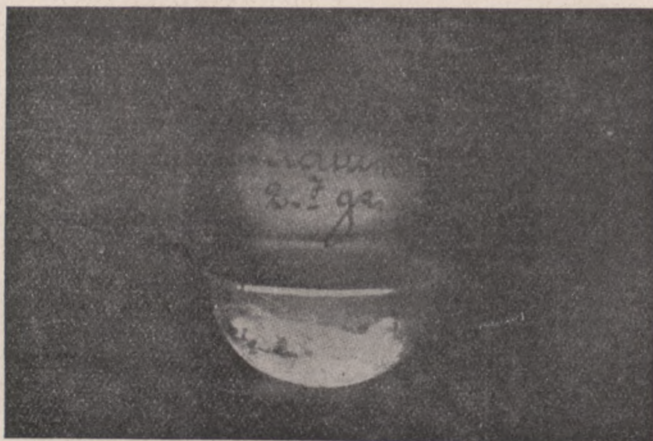
[1]) Termin promieniotwórczość (radioactivité) został wprowadzony przez Państwa Curie. Szczegółowe dane o historji odkrycia promieniotwórczości znajdzie czytelnik niżej, str. 631 i dalsze. Tutaj pragnęlibyśmy tylko zaznaczyć, że odkrycie pierwiastków polonu i radu było dokonane wspólnie przez Marję Skłodowską-Curie i Piotra Curie i trudno byłoby ustalić, jaka część zasługi przypada na każdego z tych badaczów zosobna. Należy wszakże podkreślić, że rola Pani Skłodowskiej-Curie nie była bynajmniej drugorzędną. Pani Curie już w pierwszym swym komunikacie, ogłoszonym pod jej tylko nazwiskiem („Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium", note de M-me Sklodowska Curie, Comptes Rendus z 18 kwietnia 1898), wykazała, że promieniotwórczość jest zjawiskiem atomowem, to jest — nie zależy od rodzaju związku chemicznego, w postaci którego występuje dany pierwiastek promieniotwórczy. Wysunęła dalej hipotezę istnienia w rudach uranowych pierwiastków silniej promieniotwórczych, niż uran, co w konsekwencji doprowadziło do odkrycia polonu i radu. Wyłączną zasługę Pani Skłodowskiej-Curie stanowiło też obmyślenie systematycznej metody chemicznej oddzielania polonu

fluoryzujących, działają na kliszę fotograficzną, wreszcie jonizują gazy. Metody jonizacyjne są najczęściej stosowane w wykrywaniu ciał radjoaktywnych.

Pierwiastki promieniotwórcze odznaczają się naogół dużym ciężarem atomowym. Jeżeli pominiemy potas i rubid, których promieniowanie jest nader nikłe, będziemy mogli powiedzieć, iż radjoaktywnemi są pierwiastki o ciężarze atomowym, przewyższającym 200. Z pomiędzy pierwiastków promieniotwórczych wymienimy kilka najbardziej znanych: uran, tor, rad, polon. Uran i tor należą do pierwiastków nader pospolitych; ich związki można zdobyć minimalnym kosztem (koszulki żarowe, używane do oświetlenia gazowego, zawierają głównie tlenek toru). Rad występuje najobficiej stosunkowo w rudach smołowcowo-uranowych (niem. Pechblende); ilość jego nie
Promienie te, dla oka niewidzialne [2]), wywołują świecenie ekranów

i radu od innych pierwiastków, zawartych w rudzie smołowcowo-uranowej, dokonanie żmudnych operacyj chemicznych i wyznaczenie ciężaru atomowego radu.

[2]) Silne preparaty promieniotwórcze świecą w ciemności (p. rys. 182). Dostrze-



Rys. 182.

Ampułka, zawierająca 2.7 gr. bromku radu. Zdjęcie fotograficzne zostało otrzymane w zupełnej ciemności; światła dostarczył sam preparat.

gany słaby blask należy przypisać bombardowaniu przez promienie zanieczyszczeń preparatu, których nigdy nie można uniknąć całkowicie. Jeżeli preparat znajduje się w powietrzu, w widmie świecenia występują intensywnie linje azotu, pobudzanego przez cząstki $\alpha$.

przewyższa jednak 0.2 grama na *tonnę* rudy [1]. Rad pod każdym względem przypomina inne pierwiastki; chemicznie jest analogiczny do baru; jego ciężar atomowy został wyznaczony zwykłemi metodami i, według najdokładniejszych analiz = 226,0. Z pierwiastków wyżej wymienionych najmniej poznany został polon. Ilość polonu w rudach jest 5000 razy mniejsza, niż ilość radu. Niepodobna go oddzielić zupełnie od innych ciał. Najbardziej skoncentrowany preparat polonu otrzymała w r. 1910 P. Curie przy współpracy Debierne'a. Poddano przeróbce *kilka tonn* resztek rudy uranowej. Po szeregu operacyj chemicznych otrzymano kilka miligramów substancji, która zawierała około $^1/_{10}$ *miligrama* polonu. Ta znikomo mała ilość polonu promieniowała tak silnie, jak $^1/_{10}$ grama radu; preparat wykazał kilka nowych linij widmowych, które przypisano polonowi. Z całokształtu naszych wiadomości o ciałach promieniotwórczych wynika z zupełną pewnością, że polon jest realnym pierwiastkiem, zajmującym 84-te miejsce w tab. układu perjodycznego; w wykazach ciał promieniotwórczych oznacza się często polon symbolem *RaF*.

Zadziwiające własności ciał promieniotwórczych uwydatniają się najjaskrawiej w przypadku radu, który promieniuje około pięciu miljonów razy silniej, niż taka sama na wagę ilość uranu. Jeżeli odizolować preparat, zawierający chemicznie czysty związek radu, np. chlorek radowy, to można stwierdzić dwa fakty zasadnicze:

1) powstawanie z radu nowych zupełnie pierwiastków,
2) wytwarzanie przez rad stosunkowo olbrzymich ilości energji.

Rzeczywiście, w czystym preparacie radowym ukazują się już po kilku dniach dwa gazy: lekki hel [2] i ciężka emanacja radowa ($55^1/_2$ ra-

---

[1] Otrzymywanie radu z rud należy do mozolnych operacyj chemicznych. Tem się tłumaczy wysoka cena radu; 1 gr. Ra kosztuje obecnie ok. 70000 dolarów; cena ta ulega zresztą wahaniom. Całkowita produkcja ziemska radu wynosiła do r. 1916 około 50 gr., do 1918 — 100 gr., do 1925 — 350 gr.

[2] W roku 1868, obserwując podczas zaćmienia chromosferę słońca, odkryto w niej nową linję pomarańczowo żółtą, która nie zbiegała się ze znanemi linjami sodu, choć leżała wpobliżu nich. Linję nazwano $D_3$ i przypisano nieznanemu pierwiastkowi, który od greckiej nazwy słońca („helios") otrzymał miano helu. Dopiero w r. 1895 wykrył hel na ziemi William Ramsay, analizując gaz, otrzymany z minerału norweskiego kleweitu, zawierającego związki uranowe i torowe. Odkrycie helu było pięknym triumfem metody analizy widmowej.

Jak się dowiemy niżej (str. 579 i 591), cząstki $\alpha$ ciał promieniotwórczych są naelektryzowanemi atomami helu. Ze względu na małą zdolność przenikania przez ciała materjalne, cząstki $\alpha$ muszą ulegać pochłanianiu w minerałach. Tym sposobem

zy cięższa od helu), zwana też radonem. Obydwa te gazy chemicznie nieczynne są pierwiastkami o zupełnie określonych i odrębnych cechach. Hel nie posiada własności promieniotwórczych, emanacja jest radjoaktywna. Ukazywanie się helu i emanacji stwierdzimy zawsze, czy weźmiemy czysty metaliczny rad, czy jakikolwiek związek chemiczny radu. Nie możemy uniknąć wniosku, że atom radu ulega rozpadowi i wytwarza hel i emanację. Przemiana pierwiastka chemicznego staje się faktem.

Tej przemianie towarzyszy wypromieniowywanie energji. Jeżeli preparat umieścić w osłonie, pochłaniającej promienie całkowicie, energja zamienia się w ciepło, które można mierzyć kalorymetrycznie. Okazuje się, że 1 gr. starego preparatu radowego (znajdujący się w równowadze z produktami rozpadu), daje na godzinę w okrągłej liczbie 138 kal. gramowych ciepła, a więc ilość aż nadto wystarczającą, by 1 gr. wody ogrzać od zera aż do wrzenia. Rad zanika stosunkowo wolno; bezpośrednie obserwacje nie dają zmniejszenia się ilości radu. Pośredniemi metodami wyliczono, iż połowa ogólnej ilości atomów preparatu radowego znika wskutek rozpadu po 1580 latach. Biorąc pod uwagę rozpad radu, obliczono, że 1 gr. radu w ciągu swego istnienia wytwarza $3.7 \times 10^9$ kaloryj gram. ciepła, to jest ilość ciepła otrzymywaną przy spalaniu 500 *kilogramów* węgla. Uwydatnia się tu fakt, że zjawiska promieniotwórcze wprowadzają w grę ilości energji, przewyższające wszystko to, co nam dają zwykłe reakcje chemiczne. Do najenergiczniejszych reakcyj należy spalanie wodoru w tlenie; na 1 gr. wodoru otrzymuje się przy tem w okrągłej liczbie $3.4 \times 10^4$ kal. gr., a więc 100000 razy mniej ciepła, niż przy rozpadzie 1 gr. radu.

Skłonni jesteśmy przypuszczać na podstawie powyższego, że zjawiska promieniotwórczości muszą być zasadniczo odmienne od zjawisk chemicznych. Potwierdzenie tego poglądu znajdujemy w fakcie, że przebieg zjawisk radjoaktywnych okazał się najzupełniej niezależny od zmian temperatury stosowanych w najszerszych nawet granicach i wogóle — niezależny od jakichkolwiek czynników zewnętrz-

---

można oczekiwać nagromadzenia helu w minerałach, zawierających ciała promieniotwórcze. Istotnie, w wielu skałach radjoaktywnych starych formacyj geologicznych znaleziono nagromadzenie helu w ilości 10—20 $cm.^3$ gazu na gram rudy. Ilość cząstek $\alpha$, wysyłanych na jednostkę czasu przez gram pierwiastka promieniotwórczego, jest znana. Badanie zawartości helu w minerałach pozwala zatem określać dolną granicę wieku pokładów geologicznych.

nych, gdy tymczasem w chemji ogrzanie choćby o kilkadziesiąt stopni zwiększa wielokrotnie szybkość reakcji.

Po odkryciu radu i polonu w r. 1898, postępy w badaniu ciał promieniotwórczych poszły już w niezmiernie szybkiem tempie. Zebrano olbrzymi materjał doświadczalny, który stanowiłby, zapewne, istny chaos faktów, gdyby już w zaraniu nie została stworzona teorja, porządkująca zjawiska w jednolity całokształt. Nić przewodnią w dziedzinie radjoaktywności dała teorja rozpadu (dezintergacji) atomów, rozwinięta w roku 1903 przez E. Rutherforda i F. Soddy'ego[1]. Według niej promieniowanie ciał radjoaktywnych związane jest z rozpadem atomów i wytwarzaniem nowych pierwiastków, które zkolei znów mogą ulegać rozpadowi; tym sposobem badanie promieniotwórczości daje możność wykreślenia drzewa genealogicznego pierwiastków. Na potwierdzenie swej teorji mogli badacze angielscy przytoczyć cały szereg przykładów. Tak, naprzykład, radon lub emanacja radu, o której mówiliśmy wyżej, zamknięta w ampułce, zanika stopniowo. Po upływie 3.8 dnia (ściślej — 3.827 dnia) zostaje połowa emanacji, po upływie 7.6 dnia ma się w rurce $^1/_4$ ilości pierwotnej, po upływie dalszych jeszcze 3.8 dnia — tylko $^1/_8$ i t. d. Okazało się, że i wiele innych substancyj promieniotwórczych zanika według zupełnie analogicznego prawa. Polon, naprzykład, uważano pierwotnie za pierwiastek trwały. Po roku jednak preparat tego pierwiastka stracił przeważną część swej promieniotwórczości. Ścisłe badania pani Curie pokazały, że polon traci połowę swej siły promieniowania po upływie 140 dni; po 280 dniach posiada zatem tylko $^1/_4$ pierwotnej radjoaktywności i t. d.

Spadek promieniotwórczości daje się przedstawić zapomocą wzoru:

$$I = I_0 e^{-\lambda t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

gdzie $I_0$ oznacza natężenie promieniowania na początku czasu, $I$ — po upływie czasu $t$, $e$ jest podstawą logarytmów naturalnych, a $\lambda$ — wielkością stałą. Stwierdzono, że prawo, ujęte we wzór 1-szy, jest prawem powszechnem, i że wszystkie pierwiastki radjoaktywne tracą swą zdolność promieniowania według powyższego prawa. Stała $\lambda$ charakteryzuje dany pierwiastek; im większa jest wartość tej stałej, tem szybciej następuje rozpad. Bardzo często podaje się, zamiast wartości $\lambda$, tak zwany czas przepołowienia, t. j. czas $T$, po upływie

[1]) Radioactive Change, by E. Rutherford, M. A., D. Sc., Macdonald Professor of Physics, Mc Gill University, and F. Soddy, M. A. (Oxon). Philosophical Magazine 1903, t. 5, s. 576.

którego zdolność promieniowania spada do połowy. Wskazaliśmy wyżej, że $T$ polonu = 140 dni, a $T$ emanacji = 3.827 d. Czas przepołowienia otrzymujemy łatwo z wzoru 1-szego, jeżeli jest znana wartość $\lambda$. Istotnie,

$$I/I_0 = {}^1/_2 = e^{-\lambda T};$$

biorąc logarytm naturalny, znajdujemy

$$\text{Log}\, 2 = \lambda T; \quad T = \frac{\text{Log}\, 2}{\lambda} = \frac{0.6931}{\lambda}$$

$T$ waha się w niezmiernie szerokich granicach. Najwolniej ulega rozpadowi tor ($Th$); — stała przepołowienia $T$ = $1.65 \times 10^{10}$ *lat*. Pierwiastek promieniotwórczy, oznaczany jako $ThC'$, rozpada się najszybciej; jego stałą $T$ oceniają na $10^{-11}$ *sekundy*.

**B. Promieniowanie ciał radjoaktywnych.** Umieszczając ziarenko ciała promieniotwórczego na dnie cylindrycznego wąskiego kanału w bloku ołowianym, otrzymuje się cienką wiązkę promieni, które następnie można badać, poddając je działaniu pola magnetycznego i elektrycznego tak, jak to się czyni w przypadku promieni katodowych i kanałowych (str. 556 i 557). Stwierdzono tą metodą, że wysyłane są trzy rodzaje promieni: alfa, beta i gamma.

*Promienie* $\alpha$ niosą ładunek dodatni. Wyznaczono stosunek $e/m$ i prędkość cząstek tych promieni, poddając je działaniu pola magnetycznego i elektrycznego. Do najdokładniejszych należały w tej dziedzinie pomiary Rutherforda i Robinsona; jako wartość średnią stosunku $e/m$ znaleźli ci uczeni $48230 \frac{\text{kul.}}{\text{gr.}}$, czyli wielkość tegoż rzędu, co i wielkości otrzymywane w przypadku jonów elektrolizy. Niewątpliwie zatem cząsteczki $\alpha$ są atomami lub ugrupowaniami atomów, posiadającemi ładunek dodatni.

Rutherford i Royds[1]) dowiedli bezpośrednim eksperymentem, że promienie $\alpha$ są atomami helu. Ich doświadczenie polegało na tem, że zalutowaną cienkościenną rurkę $A$ (rys. 183), napełnioną emanacją radu, umieszczano wewnątrz szerszego naczynia $T$, w którem wytwarzano jak najdoskonalszą próżnię. Grubość ścianek rurki $A$ była taka (0.02 mm), że przez nie mogły przechodzić cząstki $\alpha$, a nie mogła się przedostawać emanacja (szkło, jak wiadomo, nie

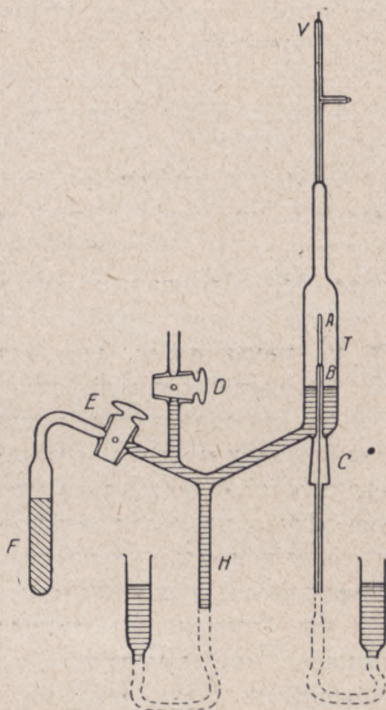
[1]) E. Rutherford i R. T. Royds. Philosophical Magazine, 1909, t. 17, s. 281.

przepuszcza gazów). Podnosząc lewy zbiornik z rtęcią, można było wpędzać gaz wytworzony z cząstek α do kapillary *V* i tam badać go spektralnie, stosując wyładowania cewki. Po dwu dniach w świeceniu gazu ukazywała się wyraźnie charakterystyczna linja helu; po sześciu dniach można było obserwować wszystkie silniejsze linje widma helu.

Ciężar atomowy helu = 4.002; ciężar at. wodoru = 1.0078. Oczekiwalibyśmy zatem, że stosunek *e/m* cząstek α, gdyby one posiadały ten sam ładunek elementarny, co i jony wodorowe, powinienby być w liczbie okrągłej czterokrotnie mniejszy od stosunku *e/m* jonów wodorowych, równego 95730. Ponieważ jest tylko dwukrotnie mniejszy, nasuwa się myśl, że atomy helu w postaci cząstek α niosą ładunek podwójny. To przypuszczenie okazuje się trafnem. Obliczmy w tem założeniu stosunek *e/m*, mając na względzie ścisłe wartości ciężarów atomowych; znajdujemy

$$\frac{e}{m} = \frac{95730 \times 1.0078}{4.002} \times 2 = 48214 \frac{\text{kul.}}{\text{gr.}},$$

co wprost znakomicie zgadza się z wartością eksperymentalną 48230 kul./gr.



Rys. 183.
Przyrząd Rutherforda i Roydsa do wykazania przemiany cząstek α w hel.

Aby nie było najmniejszej wątpliwości w sprawie natury cząstek α, wyznaczono ich ładunek bezpośrednio. W tym celu (Regener, 1909) określano zapomocą elektrometru ładunek cząsteczek α, wyrzucanych przez preparat polonu w ciągu danego czasu. Przeciętną liczbę cząsteczek znajdowano, licząc je bezpośrednio. Jest to możliwe dzięki temu, że cząstka alfa, padając na ekran, pokryty siarczkiem cynku, powoduje chwilowy przebłysk ekranu. Obserwując ekran znanych rozmiarów przez mikroskop o słabem powiększeniu, można liczyć błyski i określić przeciętną cyfrę cząstek α, wyrzucanych przez preparat w ciągu danego czasu w obrębie pewnego kąta bryłowego. Pomiary Regenera dały na ładunek pojedyńczej cząstki α

liczbę 9.57 $\times$ $10^{-10}$ jedn. el. stat. Rutherford i Geiger (1908) nieco odmienną metodę znaleźli 9.3 $\times$ $10^{-10}$ j. el. stat. Różnicę tłumaczy trudność eksperymentów. Mając na względzie, że ładunek elementarny w/g Millikana = 4.774 $\times$ $10^{-10}$ j. el. stat., widzimy, że liczba Regenera z dokładnością — lepszą, niż $^1/_3$% stwierdza identyczność cząstki $\alpha$ z atomem helu, posiadającym podwójny ładunek elementarny.

Cząsteczki $\alpha$ wysyłane przez preparaty promieniotwórcze mają prędkości zawarte pomiędzy 1.40 $\times$ $10^9$ cm./sek. ($U_1$), a 2.06 $\times$ $10^9$ cm./sek. ($ThC'$), a zatem — kilkunastokrotnie mniejsze od prędkości światła. Charakterystyczny fakt stanowi istnienie określonego „zasięgu" promieni $\alpha$. Jeżeli np. badać scyntylacje wywołane przez promienie $\alpha$ na ekranie fluoryzującym, to okazuje się, że w pewnej odległości od preparatu, wynoszącej w powietrzu kilka centymetrów, świecenie ekranu raptownie ustaje. Energja promieni $\alpha$ wyczerpuje się; nie mogą one ani wzbudzać świecenia, ani powodować jonizacji. Fig. 191, przedstawiająca zdjęcie Wilsonowskie promieni $\alpha$, naocznie przedstawia zasięg. Ślady dróg promieni $\alpha$, przypominające kłosy w snopie, urywają się w określonej odległości od preparatu. Zasięg rośnie wraz z prędkością cząstek. Wykryto interesujący związek pomiędzy zasięgiem a szybkością rozpadu pierwiastka. Pierwiastki o krótszym okresie życia mają dalszy zasięg; tak np. rad, którego okres przepołowienia $T$ wynosi 1580 lat, daje cząstki $\alpha$ o zasięgu 3.21 cm; promienie $\alpha$ polonu ($T$ = 140 dni) sięgają 3.72 cm, a zasięg cząstek $\alpha$ $RaC'$ wynosi 6.60 cm. ($T$ = ok. 0.9 $\times$ $10^{-8}$ sek.).

*Promienie* $\beta$, jak pokazują wyznaczenia prędkości i stosunku $e/m$ (str. 553), są elektronami o stosunkowo dużej prędkości, która, zaczynając się, mniej więcej, od $^1/_3$ prędkości światła, może dosięgać niemal samej prędkości światła. Tak w promieniowaniu $ThC$ spotyka się cząstki beta o prędkości 2.994 $\times$ $10^{10}$ cm/sek, gdy prędkość światła w próżni wynosi 2.998 $\times$ $10^{10}$ cm/sek. Zgodnie z wzorem Einstein-a-Lorentz'a, podanym na str. 406, masa najszybszych cząstek $\beta$ jest 18 razy większa od masy elektronu spoczywającego.

*Promienie* $\gamma$ są promieniowaniem analogicznem do prom. Röntgena (p. str. 476). Promieniowanie $\gamma$ nigdy nie występuje samodzielnie. Towarzyszy najczęściej promieniom $\beta$, czasem też promieniom $\alpha$.

Dodajmy, że przenikliwość promieni $\alpha$, $\beta$ i $\gamma$ jest bardzo różna.

---

[1]) Zasięgi, które podajemy, odpowiadają ciśnieniu 760 mm. i temp. 0°C; zasięgi są odwrotnie proporcjonalne do ciśnienia. W ośrodkach gęstszych zasięgi maleją.

Gdy promienie $\alpha$ zatrzymuje kartka papieru lub listek aluminjowy, grubości 0.1 mm., to — by pochłonąć niemal całkowicie promienie $\beta$, trzeba blachy aluminjowej grubości ok. 5 mm, przez którą całkiem swobodnie jeszcze przechodzą promienie $\gamma$. Zupełnie odmiennie przedstawia się zdolność jonizacyjna promieni: cząsteczka $\alpha$ na drodze jednego centymetra wytwarza ok. 200 razy więcej par jonów, niż cząstka $\beta$. a ta ostatnia kilkadziesiąt razy więcej, niż pojedynczy kwant promieni $\gamma$.

Na jonizacji oparta jest główna metoda badania ciał promieniotwórczych. Ilość jonów wytworzonych jest proporcjonalna do natężenia promieniowania. Szybkość opadania listka elektroskopu jest proporcjonalna do liczby jonów wytworzonych; obserwacja wyładowania elektroskopu prowadzi zatem do mierzenia intensywności promieniowania. Czułość metody elektroskopowej jest taka, iż można śmiało wykryć $10^{-10}$ gr. *Ra* w kilku centymetrach sześciennych substancji nieczynnej; w przypadku emanacji wystarcza $10^{-10}$ *milimetra sześciennego,* t. j. ok. $10^{-15}$ gr. [1]). Wogóle, pierwiastki szybciej rozpadające się, wysyłają na jednostkę masy więcej promieni, a zatem intensywniej jonizują gazy, niż ciała długowieczne. Metoda elektryczna wykrywania ciał radjoaktywnych pozostawia za sobą daleko wszystkie inne metody fizyczne, nie wyłączając badania spektralnego. Radjolog operuje najczęściej ilościami materji absolutnie niewidzialnemi i nieważkiemi, które jednak potrafi wyznaczać, oddzielać, poddawać elektrolizie. Tę nową chemję, jak powiada pani Curie, chętnieby się nazwało chemją imponderabiljów.

W tablicy, która zajmuje stronicę 582, zostało wykreślone drzewo genealogiczne pierwiastków promieniotwórczych. Obok nazwy pierwiastka podany jest czas przepołowienia; litery *a, d, m, s* (pierwsze litery łac. nazw) oznaczają lata, dni, minuty, sekundy. Miejsce odszczepienia rodziny aktynowej od rodziny uranu nie jest dokładnie znane; zaznaczono to znakiem zapytania. *RaC*, *AcC*, *ThC* rozpadają się tak, że część atomów przechodzi w *RaC'*, *AcC'* i *ThC'* a część w *RaC''*, *AcC''*, *ThC''*. Zachodzi rozwidlenie drzewa genealogicznego; w tym przypadku możemy mówić o pierwiastkach bratnich. Litery $\alpha$ i $\beta$, postawione obok kreski, znaczą, że przemianie towarzyszy wysyłanie promieni alfa lub beta. Po lewej stronie tablicy podane są numery kolumn układu perjodycznego, do których należą dane pierwiastki.

---

[1]) M. Curie, Conférence Nobel, 11 déc. 1911, s. 12.

## Drzewo genealogiczne pierwiastków promieniotwórczych.

| Kolumna ukł. per. | Rząd uranowy | | Rząd uranowy | | Rząd torowy | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VI | $U_I$ | $4.5 \times 10^9$ *a* | | | | |
| | α ↓ | | | | | |
| IV | $UX_1$ | 23.8 *d* | | | | |
| | β ↓ | | | | | |
| V | $UX_2$ | 1.17 *m* | | | | |
| | β ↓ | | | | | |
| VI | $U_{II}$ | (ok. $10^6$ *a*) | (*AC* — *U*)? | | (*Th* — *U*)? | |
| | α ↓ | ? → *UY* | ? ↓ α | | ? ↓ α | |
| IV | *Jo* | $9 \times 10^4$ *a* | *UY* | 24.6 *h* | *Th* | $1.65 \times 10^{10}$ *a* |
| | α ↓ | | β ↓ | | α ↓ | |
| II | *Ra* | 1580 *a* | | | *Ms* $Th_1$ | 6.7 *a* |
| | ↓ | | | | β ↓ | |
| V | | | *Pa* | $1.2 \times 10^4$ *a* | | |
| | | | α ↓ | | | |
| III | | | *Ac* | ok. 20 *a* | *Ms* $Th_2$ | 5.95 *h* |
| | α | | β ↓ | | β ↓ | |
| IV | | | *Ra Ac* | 18.9 *d* | *Rd Th* | 1.9 *a* |
| | | | α ↓ | | α ↓ | |
| II | | | *Ac X* | 11.2 *d* | *Th X* | 3.64 *d* |
| | ↓ | | α ↓ | | α ↓ | |
| 0 | *Ra Em* (*Rn*) | 3.825 *d* | *Ac Em* | 3.92 *s* | *Th Em* | 54.5 *s* |
| | α ↓ | | α ↓ | | α ↓ | |
| VI | *Ra A* | 3.05 *m* | *Ac A* | ok. $1.5 \times 10^{-3}$ *s* | *Th A* | 0.14 *s* |
| | α ↓ | | α ↓ | | α ↓ | |
| IV | *Ra B* | 26.8 *m* | *Ac B* | 36.0 *m* | *Th B* | 10.6 *h* |
| | β ↓ | | β ↓ | | β ↓ | |
| V | *Ra C* | 19.5 *m* | *Ac C* | 2.16 *m* | *Th C* | 60.5 *m* |
| | β ↓ \ | | β ↓ \ | | β ↓ \ | |
| VI | *Ra C'* | ok. $1.5 \times 10^{-8}$ *s* | *Ac C'* | ok. $5 \times 10^{-3}$ *s* | *Th C'* | ok. $10^{-11}$ *s* |
| | ↓ α | | ↓ α | | ↓ α | |
| III | α *Ra C''* | 1.32 *m* | α *Ac C''* | 4.76 *m* | α *Th C''* | 3.2 *m* |
| | ↓ ↙β | | ↓ β↙ | | ↓ ↙β | |
| IV | *Ra D* | ok. 16 *a* | *Ac D* (*Pb*) 207 | | *Th D* (*Pb*) 208 | |
| | β ↓ | | | | | |
| V | *Ra E* | 4.85 *d* | | | | |
| | β ↓ | | | | | |
| VI | *Po* (*Ra F*) | 1.40 *d* | | | | |
| | α ↓ | | | | | |
| IV | *Ra G* (*Pb*) 206 | | | | | |

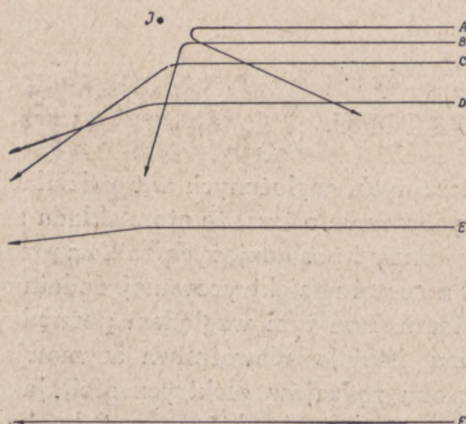
## Rozdział V.

## JĄDRO ATOMU.

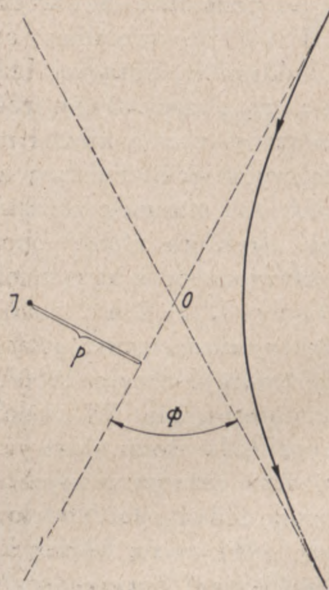
NA podstawie faktów doświadczalnych, wyłożonych w rozdziałach I i III, wyrobiliśmy sobie wyobrażenie o tem, że atom składa się z elektronów, niosących ładunek ujemny i posiadających znikomą masę = $^{1}/_{1848}$ masy atomu wodoru, i z części naelektryzowanej dodatnio, związanej z całą niemal masą atomu. Pod tym względem pomiędzy elektrycznością dodatnią a ujemną istnieje niewątpliwa asymetrja. Jaki jest stosunek przestrzenny obu rodzajów elektryczności, jaka jest struktura atomu obojętnego, oto pytanie, które musiało być postawione po zdobyciu przeświadczenia, że atomy dają się dzielić. Słynny J. J. Thomson, którego badania nad przechodzeniem elektryczności przez gazy zaznaczyły początek nowej epoki w fizyce, stworzył w roku 1906 model atomu, który wzbudził jaknajżywsze zainteresowanie. W modelu Thomsona elektryczność dodatnia wypełniała atom; elektryczność ujemna w postaci elektronów, odpowiednio rozmieszczonych, znajdowała się we wnętrzu ciągłego ładunku dodatniego. Modelowi temu przeciwstawił E. Rutherford w r. 1911 swoją własną koncepcję, opartą na doświadczeniach swej szkoły nad przechodzeniem cząsteczek $\alpha$ przez cienkie warstwy materji; w modelu Rutherforda ładunek dodatni skupiony jest wewnątrz atomu w postaci jądra, którego średnica stanowi w każdym razie jedynie b. mały ułamek średnicy atomu, rozważanego jako całość; ładunki ujemne pozostawiają sporą przestrzeń swobodną, tworzą zewnętrzną powłokę atomu. Idea ogólna struktury atomu, podana przez Rutherforda, oparła się zwycięsko olbrzymim przewrotom, jakim uległa nauka o atomie w ciągu lat ostatnich. Nawet najzagorzalsi zwolennicy zburzenia starego gmachu fizyki atomowej zgadzają się na istnienie jądra atomowego.

Wobec doniosłości zagadnienia rozpatrzmy fakty doświadczalne, które zmusiły do odrzucenia modelu Thomsona, a do przyjęcia

modelu R u t h e r f o r d a. Cząstka $\alpha$, jak wiemy, jest atomem helu, niosącym dodatni ładunek elektryczny. Przechodząc wpobliżu atomu, powinna doznawać odchylenia wskutek oddziaływania ładunku dodatniego zawartego w atomie. Obliczenia, dokonane w myśl hipotezy T h o m s o n a, prowadzą do wniosku, że każdy atom może nieznacznie jeno odchylić cząsteczkę $\alpha$,—dzięki działaniu sił, istniejących pomiędzy ładunkami jednoimiennemi. Inaczej w modelu R u t h e r f o r d a. Jeżeli założymy, że ładunek dodatni jest skupiony w jądrze na niezmiernie małej przestrzeni, to dojdziemy do wniosku, że przy dostatecznem zbliżeniu się cząsteczki $\alpha$ do jądra, wystąpią potężne siły, gdyż w myśl prawa Coulomb'a[1]) odpychanie jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości; tak więc cząsteczka $\alpha$, przebiegając dostatecznie blisko jądra, ulegnie odchyleniu o duży kąt, co ilustruje schematyczny rys. 184. Tor cząstki $\alpha$ można obliczyć, znając jej prędkość początkową i masę, mając dalej odległość p (rys. 185), w jakiejby przechodziła koło jądra $J$, gdyby nie było odpychania, i wiedząc jaki ładunek niesie jądro atomu odpychającego. Obliczenia



Rys. 184.
Odchylenia cząstek $\alpha$, przechodzących wpobliżu jądra $J$.

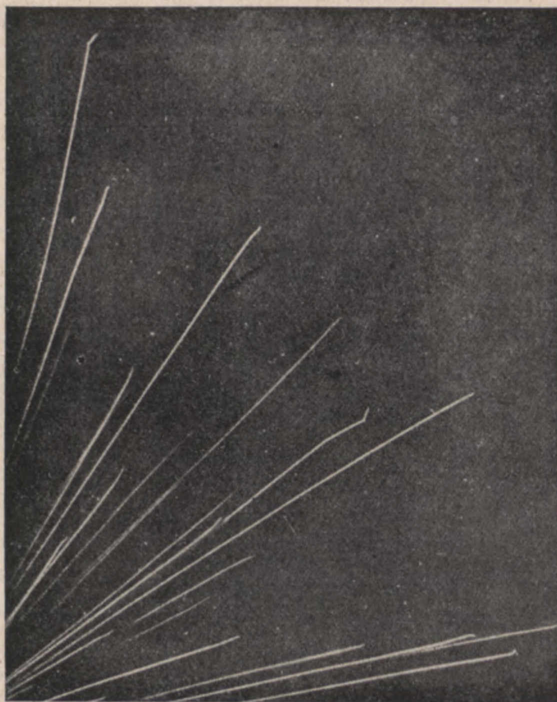


Rys. 185.
Tor hyperboliczny cząstek $\alpha$; $\Phi$ oznacza kąt odchylenia

[1]) Stwierdzono, przy przechodzeniu cząstek $\alpha$ przez złoto, że prawo Coulomb'a można było stosować jeszcze na odległości $3 \times 10^{-12}$ cm.

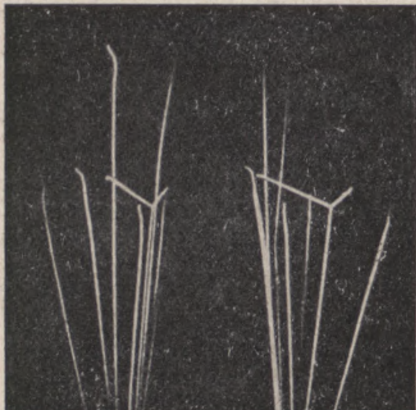
wykazują, że tor cząstki $\alpha$ stanowi hiperbola. Na rysunkach 184 i 185 zakładamy, że jądro atomu jest nieruchome, co w przypadku atomów b. ciężkich jest z pewnością spełnione z ogromnym stopniem przybliżenia.

Bieg cząstek $\alpha$ w gazach można obserwować bezpośrednio metodą *C. T. R.* Wilsona (p. str. 365). Na fotografjach wykonanych metodą Wilsonowską przekonywamy się, że ślady dróg cząstek $\alpha$ są naogół dokładnie prostolinjowe (p. rys. 186); ślady są mocno zaznaczone, gdyż promienie $\alpha$ nader silnie jonizują ośrodek, przez który przebiegają, a na jonach właśnie osiadają kropelki pary wodnej. Przeglądając setki zdjęć biegu cząstek $\alpha$, można znaleźć między niemi i takie, na których widoczne jest raptowne załamanie się toru, jego zboczenie od kierunku pierwotnego o duży kąt. Najczęściej zdarza się to przy końcu drogi przebieganej przez cząstkę. Obserwowany stan rzeczy jest a piori zrozumiały. Duże odchylenia mogą mieć miejsce wtedy tylko, gdy cząstka $\alpha$ przechodzi tuż wpobliżu jądra atomu; prawdopodobieństwo takiego zjawiska jest małe i dlatego wyraźne załamanie toru spotykamy stosunkowo rzadko. Przy danej odległości drogi cząsteczki $\alpha$ od jądra atomu odchylenie jest tem silniejsze, im prędkość cząstki mniejsza; tem się tłumaczy występowanie załamań głównie na końcach drogi, gdzie prędkość jest już nader zredukowana.



Rys. 186.
Ślady biegu cząstek $\alpha$, otrzymane metodą C. T. R. Wilson'a.

Gdy cząsteczki α biegną przez gazy lekkie, ich spotkania z jądrami atomowemi dają coś w rodzaju zderzenia; odchyla się wówczas wskutek wzajemnego odpychania i cząstka α, i jądro. Tego rodzaju przypadek widzi czytelnik na rys. 187 i 188. Na obydwu tych zdjęciach dostrzegamy nader wyraźne rozwidlenie drogi. Rysunek 187 dotyczy przechodzenia cząstek α przez tlen, zdjęcie na fig. 188 zostało dokonane w helu. Na zdjęciu pierwszem rozwidlenie prawe jest znacznie krótsze, niż lewe; na zdjęciu drugiem obydwie gałęzi są w przybliżeniu jednakowe. Wyjaśnienie tych szczegółów odrazu się narzuca: cząsteczka α, która posiada masę atomu helu (p. str. 579), jest cztery razy lżejsza od jądra tlenu. Krótka gałęź rozwidlenia odpowiada odskakującemu masywnemu jądru tlenu, które na swej drodze jonizuje gaz; dłuższa to — ślad odchylonej cząstki α. Przy spotkaniu promieni α z jądrami helu mamy do czynienia z oddziaływaniem wzajemnem cząstek o masach jednakowych; obydwa ślady stają się jednakowe.

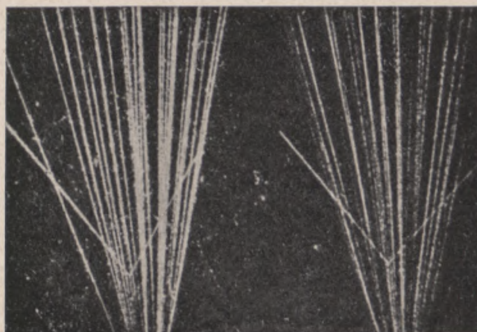


Rys. 187.
Rozwidlenie śladu cząstki α w tlenie.

Spotkania, któreśmy rozpatrzyli wyżej, mają charakter przestrzenny. Jeżeli dokonywać jednocześnie dwu zdjęć zjawiska, w kierunkach wzajemnie prostopadłych, można uzyskać efekt stereoskopowy; metody geometryczne pozwalają wówczas obliczyć kąty pomiędzy kierunkami. Tego rodzaju zdjęcia widzimy na rys. 187; w przypadku zderzenia z atomem tlenu znaleziono, że kąt odchylenia cząstki α od jej kierunku pierwotnego = 76°6′, a kąt odchylenia atomu tlenu od tegoż kierunku = 45°12′. Znając masę cząstki α i jej prędkość, można było na tej podstawie obliczyć masę atomu tlenu. Otrzymano 16.7, zamiast 16; zważywszy ogromne trudności pomiaru, wynik należy uważać za wysoce zadawalający. W przypdku helu analiza zjawiska wykazała, że kąt pomiędzy rozwidleniami (rys. 188) wynosi 89.27°′, a stosunek mas = 0.98, co różni się od prawdziwej wartości 1 tylko o 2%. Fotograficzna metoda badania jest nadzwyczaj uciążliwa i nie może dać b. dokładnych wyników. Na dziesiątki tysięcy sfotografowanych dróg jedna zaledwie daje pożądane rozwi-

dlenie o dobrze wykształconych obydwu gałęziach. W każdym razie uzyskany materjał świadczy dowodnie, że zdarzają się b. duże kąty odchyleń cząstek α, co jest w zgodzie z modelem atomu R u t h e r f o r d a, a przeczy modelowi T h o m s o n a.

Wiemy, że wszelkie ładunki elektryczne są wielokrotnością ładunku elementarnego *e* (str. 560). W roku 1913 postawił Holender A. van den B r o e k hipotezę, że liczba ładunków elementarnych dodatnich, zawartych w jądrze, równa się numerowi porządkowemu pierwiastka w tablicy układu perjodycznego; w myśl tej idei wodór, który zajmuje pierwsze miejsce, posiadałby ładunek *e*, hel — 2*e*, tlen, ósmy[1]) z kolei, — 8*e* i t. d. Gdyby tak było, numer porządkowy określałby zarazem liczbę elektronów w atomie *obojętnym*, gdyż elektrony niosą każdy po elementarnym ładunku ujemnym, i wspólny ich ładunek musi być równy ładunkowi jądra. Badania M o s e l e y a (str. 462) potwierdziły pośrednio słuszność poglądów van den B r o e k a, wykazały bowiem, że w rozmieszczeniu linij widm Röntgenowskich numer porządkowy pierwiastka, a nie ciężar atomowy, gra rolę decydującą. Jasnem było tedy, na podstawie materjału doświadczalnego ze spektroskopji promieni *X*, że numer porządkowy musi się wiązać z jakąś podstawową wielkością, odgrywającą zasadniczą rolę w mechanice atomu. Dopiero jednak doświadczenia nad odchyleniem promieni α przy ich przechodzeniu przez cienkie folje metalowe pozwoliły stwierdzić bezpośrednio, że ilość ładunków elementarnych równa jest numerowi porządkowemu pierwiastka.



Rys. 188.
Rozwidlenie śladu cząstki α w helu.

Przy użyciu folij metalowych niepodobna obserwować cząstek indywidualnych. Można tylko stwierdzić statystycznie, że na daną liczbę cząstek α określony ich ułamek odchyla się od biegu prostolinjowego o pewien kąt. E. R u t h e r f o r d wyliczył teoretycznie prawdopodobną liczbę cząstek, odchylanych w swym biegu o kąt Φ, gdy promienie α przechodzą przez b. cienką warstewkę materji. Pod-

[1]) P. str. 465.

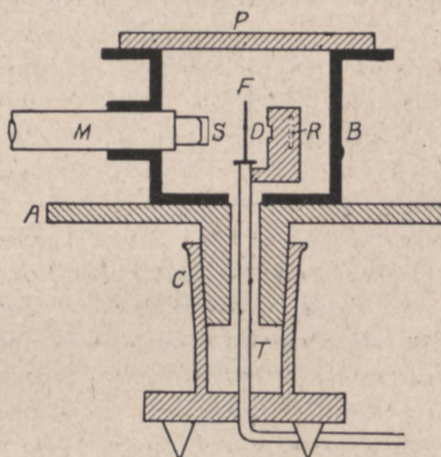
stawę teorji R u t h e r f o r d a stanowiło założenie, że jądro atomu ciężkiego, odchylającego cząstkę $\alpha$, oddziaływa na nią odpychająco według prawa Coulomba. Wiemy (str. 580), że cząstka $\alpha$ niesie podwójny ładunek elementarny $2e$; załóżmy, że jądro atomu niesie ładunek $Z.e$. W takim razie, gdy odległość jądra i cząstki $\alpha$ wynosi $r$, występuje siła odpychająca

$$f = \frac{Ze \,.\, 2e}{r^2} = \frac{2\,Ze^2}{r^2},$$

i cząstka $\alpha$ zakreśla tor hiperboliczny, jak to było pokazane na rys. 185. Nie zatrzymując się na wyliczeniach R u t h e r f o r d a, podamy tylko ich wynik ostateczny. Okazuje się, że prawdopodobieństwo odchylenia cząstki $\alpha$ o kąt $\Phi$ szybko maleje ze zwiększeniem się kąta odchylenia (jest odwrotnie proporcjonalne do $\sin^4 \Phi/2$ dalej prawdopodobieństwo odchylenia o kąt określonej wielkości rośnie, gdy się zmniejsza prędkość cząstki $\alpha$ (jest odwrotnie proporcjonalne do czwartej potęgi prędkości), wreszcie jest wprost proporcjonalne do $(Ze)^2$, gdzie $Ze$ oznacza ładunek jądra. Ten wynik jakościowo można było zgóry przewidzieć, bo przecież jasnem jest, że siła odpychania rośnie wraz ze wzrostem ładunku jądra, a skutek działania siły odpychającej musi być tem większy, im mniejszą jest prędkość ciała (obserwujemy to przecież stale w przypadku ciał rzuconych poziomo w polu grawitacyjnem ziemskiem). Że odchylenia o kąt duży są mało prawdopodobne wynika stąd, że jądro atomu uważamy za twór o b. małych rozmiarach, wobec czego jest bardziej prawdopodobnem, że cząstka $\alpha$ przejdzie opodal jądra, niż — tuż w jego pobliżu. Należy podkreślić wreszcie, że teorja R u t h e r f o r d a zakłada, iż elektrony znajdują się na tak znacznej odległości od jądra, iż, praktycznie biorąc, ich oddziaływanie na cząstkę $\alpha$ jest znikomo małe w porównaniu z oddziaływaniem samego jądra.

Sprawdzenie eksperymentalne teorji Rutherforda posiadało ogromną doniosłość. Chodziło tu z jednej strony o uzyskanie potwierdzenia zasadniczej koncepcji budowy atomu, z drugiej o wyznaczenie na drodze doświadczalnej ładunku jądra $Ze$, wreszcie, pośrednio, — o stwierdzenie, że nawet na odległościach, stanowiących mały ułamek średnicy atomu, prawo Coulomba zachowuje swą moc. Zatrzymamy się na dwu najważniejszych w tej dziedzinie pracach, wykonanych już po ogłoszeniu zasadniczej publikacji R u t h e r f o r d a. W roku 1913 H. G e i g e r i E. M a r s d e n dokonali w laboratorjum R u t h e r f o r d a imponującej liczebnością i staranno-

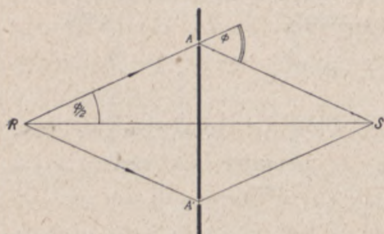
ścią serji spostrzeżeń, posługując się przyrządem, którego konstrukcję wyjaśnia schematyczny rysunek 189. Wewnątrz komory zamkniętej, na kolumience nieruchomej *T* umocowana jest cienka folja metalowa (np. listek złota grubości kilku dziesięciotysięcznych milimetra). Preparat promieniotwórczy, wysyłający promienie α, znajduje się w *R*. Mikroskop *M* o słabem powiększeniu nastawiony jest na szkiełko *S*, pokryte cieniutką warstewką siarczku cynku, który przy każdem uderzeniu cząsteczki α daje lokalny przebłysk (scyntylację); jeżeli liczba scyntylacyj na minutę nie jest zbyt wielka, można je liczyć. Mikroskop wraz z osłoną *B* można było obracać o kąt określony w szlifie *C*. Tym sposobem można było liczyć scentylacje, a więc — i liczbę cząsteczek odchylonych, w granicach $\Phi=5^0$ do $\Phi=150^0$. Należało dokonać olbrzymiej liczby obserwacyj, gdyż tylko wtedy można otrzymywać przeciętne statystyczne, odpowiadające prawdopodobieństwu wydarzeń. Geiger i Marsden obserwowali około 100000 scyntylacyj; był to trud olbrzymi, jeżeli się zważy, że przebłyski cząsteczek α można badać tylko okiem dobrze wypoczętem, w zupełnej ciemności. Badania te potwierdziły teorję Rutherforda; okazało się, że zgodnie z teorją liczba cząstek odchylonych jest odwrotnie proporcjonalna do $\sin^4 \Phi/_2$ [1]). Ścisłość tych nader trudnych doświadczeń nie była jednak wystarczająca, by można było uzyskać dokładne, ilościowe potwierdzenie hipotezy van den Broeka.




Rys. 189
Przyrząd Geigera i Marsdena do badania odchylenia cząstek α przez folje metalowe.

[1]) Jak małem jest prawdopodobieństwo dużych odchyleń, pokazują np. liczby, otrzymane w jednej serji spostrzeżeń. Przy 3300 cząstkach α, odchylonych o kąt $5^0$, było tylko 200 odchylonych o $10^0$, a tylko trzy — odchylone o $30^0$. Nadmienimy, że teorja Rutherforda odchylania cząsteczek α przez jądra atomów okazała się zgodną z faktami w przypadku atomów cięższych od miedzi. W przypadku atomów lekkich stwierdzono poważne odchylenia od przewidywań teoretycznych; przebieg wielu zjawisk w tej dziedzinie tłumaczy nowa mechanika atomu (p. ostatni rozdział niniejszej książki).

Zagadnienie podjął ponownie o parę lat później [1]) J. Chadwick, również pracownik instytutu fizycznego w Cambridge. Uważając zależność liczby cząstek α rozproszonych od kąta Φ za stwierdzoną, skoncentrował wszystkie swe wysiłki na wyznaczeniu liczby $Z$ ładunków elementarnych, zawartych w jądrze. Schemat urządzenia eksperymentalnego Chadwicka wyjaśnia rys. 190. W punkcie $R$ znajduje się źródło promieni α; w punkcie $S$ ekranik, na którym obserwuje się scyntylacje tym samym sposobem, co i w poprzednio opisanej metodzie. Promienie α mają drogę odciętą przez grube zasłony metalowe; pozostawia się im przejście jedynie przez pierścień cienkej folji metalowej, którą widzimy na rysunku w 'punktach $A$ i $A'$ w przecięciu. Tym sposobem na ekranie $S$ pojawiają się promienie, odchylone pod kątem Φ (rys. 185) [2]). Teorja daje możność obliczenia ładunku jądra ze stosunku liczby cząstek odchylonych o kąt Φ, do ogólnej liczby cząstek wysyłanycb przez preparat. W wyniku swych doświadczeń otrzymał Chadwick [3]) na liczbę $Z$ wartości wykazane w poniższej tabelce




Rys. 190.
Schemat urządzenia J. Chadwicka do badań nad ładunkiem jądra atomu.

| Pierwiastek | Liczba $Z$ wyzn. dośw. | Numer porządkowy w tabl. ukł. perj. |
|---|---|---|
| Platyna . . . | 77.4 | 78 |
| Srebro . . . | 46.3 | 47 |
| Miedź . . . | 29.3 | 29 |
| Złoto . . . . | 79 | 79 |

[1]) Praca z roku 1920.

[2]) Dajemy tu uproszczony schemat metody; w rzeczywistości, ze względu na skończone rozmiary pierścienia z folji metalowej, trzeba uwzględnić okoliczność, że kąt Φ zmienia się w określonych granicach.

[3]) Złoto badali Rutherford i Chadwick wspólnie.

Odchylenia liczb Z, znalezionych doświadczalnie, od numerów porządkowych pierwiastków są rzędu błędów obserwacji. Hipoteza van den Broeka potwierdza się; jednocześnie rozszerza się i pogłębia nasz pogląd dotychczasowy na tablicę układu perjodycznego. Tablica ta obecnie nietylko wskazuje na to, że własności chemiczne pierwiastków powtarzają się perjodycznie. Mówi ona również i o tem, że każdy następny pierwiastek posiada ładunek jądra o jednostkę większy od swego poprzednika, posiada też o jeden elektron więcej. Wodór, pierwszy na liście, ma jądro zawierające pojedyńczy ładunek elementarny; w części zewnętrznej może posiadać tylko jeden elektron. Atom helu ma jądro o dwu ładunkach elementarnych; posiada też dwa elektrony. Największą ilość elektronów, bo 92, liczy atom uranu.

Jądro stanowi rdzeń, duszę atomu. W niem skoncentrowana jest prawie cała jego masa. Nie ona jednak, lecz ładunek elektryczny, decyduje o własnościach chemicznych atomu. Widzimy przecież, że argon i potas, kobalt i nikiel, jod i tellur zajmują w tablicy perjodycznej nie te miejsca, któreby wynikały z ich ciężarów atomowych, lecz te, które im wyznacza ładunek elektryczny jądra. Rozumiemy już teraz naturę cząsteczki $\alpha$, która niesie podwójny dodatni ładunek elementarny i z łatwością przemienia się w hel. Jest to poprostu jądro atomu helu, „naga dusza" helu, mówiąc językiem Przybyszewskiego.

---

## Rozdział VI.

## ROZPAD ATOMÓW NATURALNY I SZTUCZNY.

A. **Przemiany radjoaktywne.** Rutherforda model atomu pozwala wejrzeć w istotę przemian radjoaktywnych. Weźmy jakąkolwiek przemianę, związaną z wysyłaniem cząstek $\alpha$; w takiej przemianie masa rozpadającego się atomu musi się zmniejszać o cztery jednostki, gdyż cząstka $\alpha$ jest jądrem helu (patrz koniec poprzedniego rozdziału). Cała niemal masa atomu jest skoncentrowana w jego jądrze; wynika stąd zatem, że cząstka $\alpha$ jest wyrzucana przez jądro atomu, że rozpad atomu polega na jakiejś bliżej nieznanej eksplozji jądra. Założymy, że i cząstki $\beta$ są wyrzucane z jąder atomów promieniotwórczych; potwierdzenie tego poglądu damy niebawem. Procesy radjoaktywne są więc zjawiskami, rozgrywającemi się we wnętrzu atomu. Z tem widocznie wiąże się nasza bezsilność w oddziaływaniu na przebieg przemian promieniotwórczych; nie rozporządzamy środkami dość subtelnemi i potężnemi zarazem, by móc oddziaływać na jądro atomu.

Cząstki alfa niosą podwójny ładunek elementarny dodatni, cząstki beta pojedyńczy — ujemny. Przy wyrzucaniu cząstki $\alpha$ ładunek jądra rozpadającego się atomu zmniejsza się tedy o dwie jednostki, zaś wyrzucanie cząstki $\beta$ musi być równoważne *zwiększeni*u ład. *dodatniego* o jednostkę. W pierwszym przypadku pierwiastek powstający z danego powinien zająć w układzie perjodycznym kratkę, przesuniętą o dwa miejsca w lewo, t. j. — w stronę numerów porządkowych malejących, w drugim — powinien być przesunięty o jedno miejsce w prawo. Taką jest treść słynnego prawa przesunięć, które dali w roku 1913 niemal jednocześnie K. Fajans[1]) i F. Soddy. To pra-

---

[1]) Kazimierz Fajans urodził się w Warszawie w r. 1887. Po ukończeniu gimnazjum realnego, udał się na studja do Niemiec, z początku do Lipska, potem do Heidelberga, gdzie w r. 1910 uzyskał doktorat na podstawie interesującej i ważnej pracy eksperymentalnej, w której dowiódł możliwości prze-

wo pozwoliło rozlokować pierwiastki promieniotwórcze w przegródkach układu perjodycznego. Niektóre pierwiastki radjoaktywne są dobrze znane tak z punktu widzenia ciężaru atomowego, jak i własności chemicznych. Biorąc je za punkt wyjścia, można niezwłocznie znaleźć miejsca, jakie zajmą produkty rozpadu z nimi genetycznie związane. Weźmy dla przykładu rad, który, posiadając ciężar atomowy 226.0, zajmuje 88-me miejsce w tab. układu perjodycznego (str. 465). Rad, wyrzucając cząstkę $\alpha$, przechodzi w emanację (p. str. 582); emanacja zatem powinna posiadać ciężar at. 222 i zajmować 86-te miejsce. Ciężar atomowy emanacji, wyznaczony metodami fizycznemi, dobrze się zgadza z wnioskiem powyższym; emanacja, jak stwierdzono eksperymentalnie, jest gazem chemicznie nieczynnym, istotnie więc musi zajmować miejsce 86-te, — w kolumnie gazów szlachetnych. Postępując w sposób wskazany, możemy odnaleźć miejsca dalszych pierwiastków. Całokształt danych doświadczenia potwierdza w zupełności tę metodę lokowania pierwiastków; wypowiedziane wyżej przypuszczenie, że cząstka $\beta$ wyrzucana jest z jądra atomu, okazuje się w ten sposób uzasadnionem.

Na pierwszy rzut oka rozlokowanie wszystkich pierwiastków promieniotwórczych w tablicy układu perjodycznego wydaje się niemożliwością. Ostatnim pierwiastkiem nieradjoaktywnym jest bizmut, zajmujący 83-cie miejsce. Wszystkie pierwiastki promieniotwórcze rzędu uranowego i torowego mają ciężary atomowe zawarte pomiędzy 206 a 238. Pozostaje więc na ogólną liczbę pierwiastków, przewyższającą 40, tylko 9 wolnych kratek. Aby znaleźć wyjście z sytuacji,

---

miany mieszaniny racemicznej w optycznie czynną pod wpływem pewnych katalizatorów. Za tę pracę otrzymał nagrodę im. Wiktora Meyera. Po krótkim pobycie w Zurychu, zajął się następnie Fajans w r. 1910 i 1911 pracą badawczą w dziedzinie promieniotwórczości w laboratorjum Rutherforda w Manchester. Tu wespół z H. G. J. Moseley'em opracował ciekawą metodę badania spadku promieniotwórczości pierwiastków o nader krótkim okresie życia; tu również dowiódł doświadczalnie rozwidlenia drzewa genealogicznego radu (p. str. 582). W r. 1912 został Fajans docentem chemji fizycznej w Szkole Politechnicznej w Karlsruhe; w roku 1917 przeniósł się do Monachjum, gdzie w uniwersytecie otrzymał zrazu stanowisko profesora nadzwyczajnego, a potem — zwyczajnego, i gdzie zajmuje się pracą badawczą do dnia dzisiejszego. Dla fizyki najdonioślejsze były badania Fajansa nad ciałami radjoaktywnemi: poza rozwidleniem w rodzinie radowej, — odkrycie prawa przesunięć (p. tekst), wykrycie uranu $X_2$ (wspólnie z O. Göhringem), inicjatywa wykrycia doświadczalnego izotopów ołowiu (p. str. 596). Powszechnie znana jest piękna monografja Fajansa, dotycząca ciał promieniotwórczych i układu perjodycznego. (Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen, Brunświk, Vieweg).

musimy założyć [1]), że w jednej kratce układu perjodycznego mieści się po kilka pierwiastków. Znaczy to, że pewne grupy pierwiastków posiadają jednakowy ładunek jądra, odpowiadający danemu numerowi porządkowemu, posiadają też jednakowe własności chemiczne i przeważną część własności fizycznych, mają jednak, naogół, różne ciężary atomowe. Takie pierwiastki nazwał F. Soddy izotopami [2]).

Istnienie izotopów w dziedzinie promieniotwórczości potwierdza wyniki znalezione przez Astona w jego badaniach nad promieniami kanałowemi (str. 569). Przypominamy, iż Astonowi udało się wykazać, że zwykły chlor, naprzykład, jest mieszaniną atomów o masach odpowiednio równych 35 i 37, i że jego ciężar atomowy 35.46 jest tylko średnią wartością ciężarów atomowych składników; podobnież — w przypadku rtęci (sześć składników), cyny i innych pierwiastków. Izotopy Astona, na podobieństwo izotopów promieniotwórczych, muszą mieć identyczne własności chemiczne, bo nigdy nie udało się oddzielić tych składników od ciał prostych na drodze chemicznej.

Trzeba przyznać, że dowody istnienia pierwiastków izotopowych, znalezione w dwu zupełnie odmiennych dziedzinach badania, były jednak dalekie od bezpośredniości. Mówiono o istnieniu odmian danego pierwiastka, posiadających różne ciężary atomowe, nikt jednak nie dokonywał nigdy wyznaczenia ciężarów atomowych izotopów, gdyż tak w rurkach próżniowych, jak i w zjawiskach promieniotwórczości, rozporządzano znikomemi, nie dającemi się zważyć ilościami materji. W roku 1914 zdołano wykazać istnienie w naturze co najmniej trzech odmian ołowiu, występujących w ilościach tak dużych, że można je z łatwością poddawać dowolnym operacjom chemicznym. Jest rzeczą interesującą, że w poszukiwaniu tych izotopów nić przewodnią dała teorja rozpadu promieniotwórczego i znajomość drzewa genealogicznego pierwiastków. Gdyby nie idee ogólne, przenikające w subtelne

---

[1]) Prawo przesunięć wyjaśnia nam rzecz dokładniej. Wyobraźmy sobie, naprzykład, pierwiastek, który ulega rozpadowi, wyrzucając cząstkę alfa; niech dalej po tej przemianie następują dwie przemiany beta. W pierwszej przemianie powstaje ciało przesunięte w układzie perjodycznym o dwie kratki w lewo; dwie przemiany dalsze przesuwają otrzymane produkty rozpadu w prawo. Pierwiastek, wytworzony po tych samych przemianach, zajmie tę samą kratkę, co i pierwiastek, z któregośmy wyszli; będzie miał jednak ciężar atomowy o cztery jednostki mniejszy. Albowiem wyrzucanie cząstki $\alpha$ powoduje stratę ciężaru atomowego o 4.00, zaś przemiana $\beta$ nie odbija się na ciężarze atomowym, gdyż masa elektronu jest znikomo mała w stosunku do masy jądra.

[2]) Od greckich słów „izos" — równy i „topos" — miejsce.

szczegóły zjawisk, trwalibyśmy, niewątpliwie, do dziś w mniemaniu, że istnieje tylko jeden ołów o ściśle określonym, niezmiennym ciężarze atomowym, jak tego żądała chemja klasyczna.

Wspominaliśmy już wyżej o tem (odnośnik na str. 594), że przy wysyłaniu cząsteczki $\alpha$ pierwiastek promieniotwórczy musi przechodzić w inny o ciężarze atomowym o 4 jednostki mniejszym, a przy wysyłaniu cząstki $\beta$ daje początek pierwiastkowi, posiadającemu ciężar atomowy ten sam, co i pierwiastek macierzysty. Przyjrzyjmy się uważniej drzewu genealogicznemu pierwiastków, nakreślonemu na str. 582. Cyfry rzymskie po stronie lewej oznaczają kolumny układu perjodycznego. Weźmy za punkt wyjścia jakiś pierwiastek o dobrze znanym ciężarze atomowym, np. rad (226.0). Znajduje się on w drugiej kolumnie tablicy Mendelejewa. Wysyłając cząstkę $\alpha$, daje początek emanacji, która, w/g prawa przesunięć, musi należeć do kolumny zerowej; emanacja przechodzi w *RaA*; ten ostatni — w *RaB* i t. d. Przedostatnim w tej kolumnie jest polon (*RaF*). Polon nie pozostawia po sobie żadnego ciała, któreby się dawało wykryć metodami promieniotwórczości; wywnioskowano stąd, że polon przechodzi w ciało nieczynne i nazwano je *Ra G*. Policzmy przemiany alfa od radu do *Ra G*. Mamy ich pięć, idąc w linji prostej; idąc linją boczną, przez *Ra C''*, otrzymamy ich tyleż. Ponieważ każda przemiana $\alpha$ powoduje zmniejszenie ciężaru atomowego o cztery jednostki, więc produkt ostateczny przemiany radu powinien posiadać ciężar atomowy

$$226 - 5 \times 4 = 206.$$

W tablicy układu perjodycznego niema pierwiastka, któryby posiadał taki właśnie ciężar atomowy. Najbliższym jest ołów o ciężarze atomowym 207.2. Jeżeli nasze rozumowanie jest ściśle, produktem rozpadu pierwiastków rzędu uranowego, powinien być izotop ołowiu; nazwijmy go ołowiem radowym. Sprobujmy to samo rozważanie zastosować do rzędu torowego. Ciężar atomowy toru = 232,1. Począwszy od *Th* do końcowego produktu *Th D*, mamy sześć przemian alfa. Ciężar atomowy *Th D* powinien być równy

$$232.1 - 4 \times 6 = 208.1.$$

Znów zatem [1]) ostatecznym produktem rozpadu powinien być inny izotop ołowiu, powiedzmy ołów torowy. Różnica w ciężarach atomo-

---

[1]) W myśl prawa przesunięć.

wych obydwu tych odmian winna była wynosić 1%; należało przeto przypuszczać, że metody zwykłej analizy chemicznej pozwolą z łatwością wykazać istnienie izotopów.

Było oczywistem, że trzeba szukać nowych odmian *Pb* z jednej strony w minerałach uranowych, zupełnie wolnych od toru, z drugiej — w rudach torowych, nie zawierających uranu. To pierwsze jest łatwiejsze, albowiem rudy torowe zawierają z reguły domieszkę uranu. Po pewnej liczbie analiz[1]) znaleziono, że krystaliczna uranowa

---

[1]) Już w roku 1907 wypowiedział B. Boltwood w Ameryce myśl o tem, że końcowym produktem rozpadu pierwiastków rzędu uranowo-radowego jest ołów. Boltwood opierał się na wynikach analiz minerałów uranowych. Znalazł on mianowicie, że stosunek ilości ołowiu do ilości uranu jest w przybliżeniu stały we wszystkich minerałach, należących do tej samej mniej więcej epoki geologicznej, a minerały epok bardziej oddalonych zawierają *stosunkowo* więcej ołowiu, niż minerały, należące do nowszych epok. Tak właśnie być powinno, jeżeli ołów jest końcowym produktem przemian, gdyż, będąc pierwiastkiem niezmiennym, musi się nagromadzać z biegiem czasu w minerałach, w których jest wciąż wytwarzany. Co dotyczy końcowego produktu szeregu torowego, odrzucał Boltwood przpuszczenie, że nim może być ołów, ze względu na małą zawartość ołowiu w rudach czysto torowych.

Sprawa z powrotem stała się przedmiotem rozważań, gdy dzięki prawu przesunięć można było rozlokować pierwiastki promieniotwórcze w układzie perjodycznym. Wynikało z tego prawa, że produktami ostatecznemi w obydwu wielkich rodzinach promieniotwórczych powinny być izotopy ołowiu. K. Fajans (Ueber die Endprodukte radioaktiver Zerfallsreihen, Sitzungsber. Heidelb. Akad., r. 1914, 11 Ab.) pierwszy podał myśl eksperymentalnego sprawdzenia wniosków teorji. Wybrawszy odpowiednie minerały, powierzył zbadanie ciężaru atomowego ołowiu radowego i torowego asystentowi instytutu chemicznego w Karlsruhe, M. Lembertowi. Instytut w Karlsruhe nie miał żadnych tradycyj w dziedzinie wyznaczania ciężarów atomowych; sprawa posuwała się wolno; dla przyśpieszenia badań wysłano Lemberta do Ameryki, do laboratorjum Th. W. Richardsa, który uchodził za jednego najwybitniejszych specjalistów w dziedzinie wyznaczania ciężarów atomowych. W Ameryce przyjęto myśl poszukiwania izotopów ołowiu jak najsceptyczniej. Chemikom, zaprawionym w otrzymywaniu ścisłych wartości ciężarów atomowych, wydawało się niedorzecznem przypuszczenie, iż stnieją dwa ołowie o ciężarach atomowych, różniących się od siebie o 1%. Uprzedzenia musiały ustąpić wobec faktów. Analizy Richardsa i Lemberta wykazały, że ciężary atomowe ołowiu, otrzymanego z karnotytu, blendy smołowcowo-uranowej i uraninitu były odpowiednio równe: $206.60 \pm 0.01$, $206.60 \pm 0.03$ i $206.4 \pm 0.1$; na ciężar at. ołowiu zwykłego znaleziono $207.15 \pm 0.01$, wreszcie torjanity celjońskie, zawierające 60% toru i 20% uranu, dały ołów o ciężarze at. $206.83 \pm 0.02$. Istnienie różnych odmian ołowiu stało się faktem. Niebawem wyniki te zostały potwierdzone przez Maurycego Curie, przez O. Hönigschmida i P-nnę St. Horovitz. Ci ostatni badacze wykryli właśnie ołów o ciężarze at. 206.05, o którym mowa w tekście.

blenda smołowcowa z Morogoro w Afryce zawiera ołów o c. at. 206.05, a pewne toryty (F. Soddy i O. Hönigschmid) pozwalają oddzielić ołów o c. at. 207.9. Pierwsza liczba jest niemal identyczna z teoretyczną; druga jest nieco niższa od przewidywanej (208.1), co łatwo się tłumaczy domieszką ołowiu radowego, gdyż, jakeśmy nadmienili, wszelkie minerały torowe zawierają uran.

Badanie własności izotopów ołowiu wykazało, że są one identyczne chemicznie i niemal identyczne fizycznie. Mają — te same widma w dziedzinie Röntgenowskiej i, praktycznie biorąc, widma identyczne [1]) w dziedzinie widzialnej i nadfiołkowej; roztwory izotopów posiadają ten sam spółczynnik załamania, to samo przewodnictwo elektrolityczne. Różnice występują tylko w tych cechach, które są związane z ciężarem atomowym. Tak naprzykład, gęstość ołowiu zwykłego (207.2) wynosi 11,337, a gęstość ołowiu uranowego (206.09) okazała się równą 11.273. Różnica wynosi przeszło $^1/_2{}^0/_0$; mógłby ją wykryć przeciętny student w laboratorjum ćwiczeń. W Kongo Belgijskiem istnieją duże złoża rud, zawierających ołów radowy o cięż. at. 206.05. Gdyby tam istniał uniwersytet, jego studenci musieliby się posługiwać specjalnemi tablicami fizyczno-chemicznemi, uwzględniającemi stałe ołowiu lokalnego.

Próbowano również oddzielić izotopy innych pierwiastków drogą dyfuzji przez przegrody porowate, drogą b. powolnej destylacji w daleko posuniętej próżni. Najwydatniejsze wyniki osiągnięto w przypadku rtęci, chloru, neonu. Otrzymano jednak oddzielenie bardzo niekompletne. W najpomyślniejszym przypadku, poddając rtęć destylacji w próżni, zdobyli J. N. Brönsted i G. v. Hevesy (r. 1921) dwie porcje tego metalu, których gęstości różniły się o $^1/_{20}{}^0/_0$.

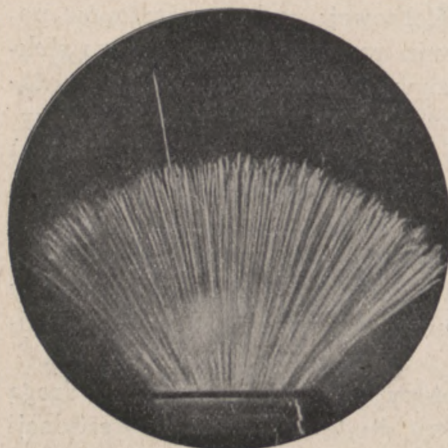
**B. Przemiany pierwiastków sztucznie wywołane**[2]). Badania nad pierwiastkami promieniotwórczemi wyjaśniły, że wszelka przemiana pierwiastków musi polegać na zmianach w jądrze atomowem. Gdybyśmy potrafili oddziaływać na jądra atomów, moglibyśmy urzeczywistnić ideał dawnych alchemików i przetwarzać metale nieszlachetne na złoto. Rozejrzawszy się uważnie w tablicy układu perjodycznego, można łatwo zauważyć, że najwięcej nadziei budzi otrzymywanie złota z rtęci.

---

[1]) Wykryte różnice w długości fal nie przewyższają setnych części jednostki Angströma.

[2]) Przy opracowywaniu tego rozdziału korzystaliśmy z monografji K. W. F. Kohlrauscha w Handbuch der Experimentalphysik, t. XV, str. 797.

Złoto zajmuje 79-te miejsce, a rtęć — 80-te; wiemy, iż znaczy to, że ładunek jądra rtęci = osiemdziesięciu dodatnim ład. elementarnym, a jądro złota posiada 79 ład. element. dodatnich. Gdybyśmy potrafili ulokować w jądrze rtęci jeden elektron, jego ładunek ujemny zobojętniłby jednostkę ład. dodatniego, i otrzymalibyśmy z rtęci izotop złota. Kierując się tą myślą, podjęto kilka lat temu szereg badań, w kórych poddawano rtęć energicznym wyładowaniom elektrycznym. Zdawało się nawet przez czas krótki, że skutek pożądany został osiągnięty; wszelako krytyczne doświadczenia sprawdzające dowiodły, że znalezione minimalne ślady złota pochodziły z zanieczyszczenia ciał, użytych do konstrukcji lamp rtęciowych, któremi operowano. Próbowano potem dokonać syntezy helu z wodoru; i tym razem okazało się, że znaleziony spektralnie hel pochodził z powietrza.



Rys. 191.
Zdjęcie dróg cząstek $\alpha$.
(Fofografja Lizy Meitner i K. Freitaga).

E. Rutherfordowi udało się jednak w r. 1918 dokonać sztucznej przemiany pierwiastków, dzięki zastosowaniu potężnego skupienia energji, zawartego w cząsteczkach $\alpha$. Łatwo można się przekonać, że *na jednostkę masy* prędkie cząstki $\alpha$ niosą setki miljonów razy więcej energji, niż pociski wielkich dział. Istotnie, z wzoru energji kinetycznej $K = {}^1/_2\, m\, v^2$, widzimy, że energja jednostki masy $= \frac{1}{2} v^2$. Prędkość pocisku armatniego nie przewyższa $10^3$ m./sek. czyli $10^5$ cm./sek.; prędkość szybkich cząstek $\alpha$ dochodzi do $2 \times 10^9$ cm./sek., jest zatem $2 \times 10^4$ razy większa od prędkości pocisków. Energja jednak rośnie proporcjonalnie do kwadratu prędkości; wynika stąd odrazu słuszność wyżej uczynionej uwagi.

Geneza badań Rutherforda nad rozbijaniem atomów była następująca. E. Marsden wykrył tak zwane „naturalne promienie *H*". Polegają one na tem, że cząsteczki $\alpha$, biegnące przez wodór lub też przez związki chemiczne, zawierające wodór, wyzwalają jądra wodorowe. Mechanizm tego zjawiska łatwo sobie możemy wyobrazić:

gdy jądro helu uderza w jądro wodoru, przekazuje mu część swej energji kinetycznej, analogicznie do wymiany energji w zderzeniach kul sprężystych. Odskakujące jądro wodoru, zważywszy stosunek mas, posiadać będzie prędkość większą, niż cząstka $\alpha$, a odpowiednio do tego — i zasięg większy. Istotnie, naturalne promienie $H$, wytworzone przez cząstki $\alpha$ o zasięgu = 7 cm., mogą przebiegać w powietrzu pod ciśnieniem atmosferycznem 28 cm. Piękną ilustrację tego zjawiska widzimy na zdjęciu fotograficznem na rys. 192. Jest to zdjęcie Wilsonowskie (p. str. 365) promieni $\alpha$ [1]), przechodzących przez cienką warstewkę parafiny. Promienie $\alpha$ tworzą jakby krzaczek, wyrastający z powierzchni parafiny. Naturalne promienie wodorowe wybiegają daleko poza obręb promieni $\alpha$. Posiadają one nader różne zasięgi. Zdjęcie Wilsonowskie na rys. 191 w sposób naoczny pokazuje istnienie dokładnie określonego zasięgu promieni $\alpha$. Jest to fotografja stereoskopowa, otrzymana przez L i z ę M e i t n e r i K. F r e i t a g a. Źródłem promieniowania był osad toru. Najbardziej rzuca się w oczy główny snop promieni $\alpha$, wyrzucany przez $ThC'$, o zasięgu 8.6 cm.; prócz tego można dostrzec promienie o zasięgu niemal o połowę mniejszym, należące do ThC. Jedna z cząstek posiada anormalnie wielki zasięg (11.5 cm.); tego rodzaju zasięgi są nader rzadkie;

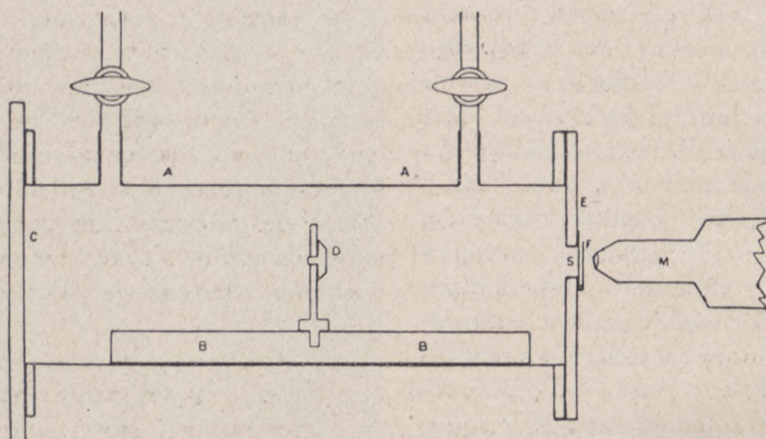


Rys. 192.
Promienie wodorowe wytworzone przez cząstki $\alpha$ polonu.

[1]) Zdjęcie to zostało wykonane przez P. D-ra C. Pawłowskiego, adjunkta Uniw. Warsz., którego uprzejmości zawdzięczamy możność umieszczenia reprodukcji w książce niniejszej.

stanowią one w przypadku osadu torowego, mniej więcej, $^{1}/_{5000}$ iiczby zasięgów normalnych.

Odkrycie sztucznego rozpadu (dezintegracji) atomów zostało dokonane w okolicznościach następujących. W roku 1915 E. Marsden, pracując z początku sam, a potem wespół z W. C. Lantsberry'm, stwierdził, że naturalne promienie wodorowe powstają i wtedy nawet, gdy na drodze promieni $\alpha$ niema żadnych substancyj, zawierających wodór. Wytłumaczenie faktu powyższego można było upatrywać w tem, że sam




Rys. 193.

Przyrząd Rutherforda do badania sztucznego rozpadu pierwiastków.

preparat promieniotwórczy mógł zawierać związki wodoru. Do sprawy tej powrócił E. Rutheford w roku 1918. Zauważył on, że jeżeli wyrzucane jądra wodoru, będziemy je nazywać *protonami*, biorą swój początek w samym preparacie promieniotwórczym, to otaczający ośrodek bezwodorowy nie powinien wywierać wpływu na ich ilość. Tymczasem doświadczenie pokazało, że w atmosferze $CO_2$ lub tlenu liczba protonów obserwowanych malała; wzrastała natomiast, gdy doświadczenia były wykonywane w atmosferze azotu. Sposób obserwowania protonów wyjaśnia rys. 193. Preparat promieniotwórczy (rad *C*) umieszczano w *D* na podstawce, którą można było przesuwać wzdłuż listwy *B*, zaopatrzonej w podziałkę. Krany, znajdujące się w górnej części przyrządu, służyły do napełniania go różnemi gazami. Prawa część aparatu, zwrócona ku objektywowi mikroskopu,

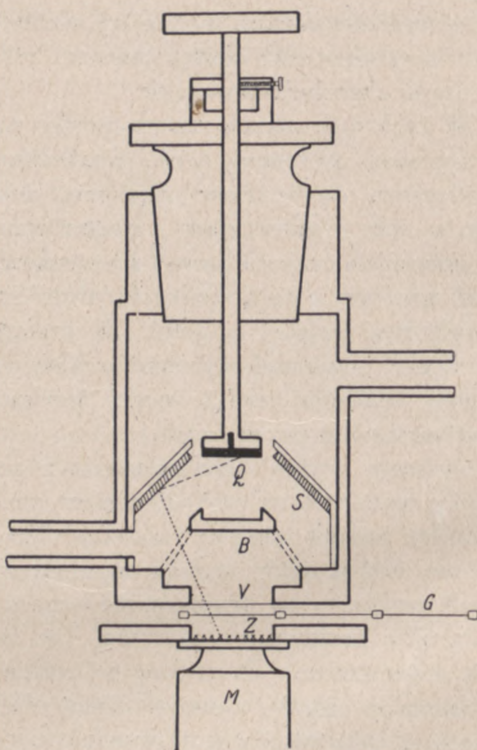
posiadała otwór *S*, zamknięty cienką folją srebrną, która co do zmniejszania prędkości cząstek $\alpha$ była równoważna 4—6 cm. powietrza. Dopiero za folją znajdował się ekranik *F*, służący do obserwowania scyntylacyj (p. str. 589). Było to pokrywkowe szkiełko, pokryte cieniutką warstewką siarczku cynku, którą przyklejano odrobiną rozcieńczonej terpentyny; strona, pokryta substancją świecącą, była, rozumie się, zwrócona ku otworowi *S*. Mikroskop był nastawiony na świecącą powierzchnię ekranu. Pomiędzy ekranem *F* a folją srebrną był pozostawiony niewielki odstęp; można było tam umieszczać zasłonki do badania absorbcji protonów.

W tych warunkach obserwowano na ekranie *F* scyntylacje, które przypisano protonom, a nie cząsteczkom $\alpha$. Że to były istotnie jądra wodorowe, dowiedziono niezbicie, dokonywując pomiarów odchylenia w polu elektrycznem i magnetycznem. Zastosowano do tego celu w nowszych czasach nawet spektrograf masowy tak, iż ten punkt został ustalony z całą ścisłością. Było zresztą zgóry pewnem, że to nie mogły być cząstki $\alpha$, gdyż ich zasięg nie pozwalał im dobiec do ekranu *F*; skądinąd scyntylacje obserwowane miały charakter swoisty i były znacznie (mniej więcej trzykrotnie) słabsze od scyntylacyj, wytwarzanych przez cząstki $\alpha$.

Opisane wyżej doświadczenia z azotem, $CO_2$ i tlenem, przemawiały wyraźnie za wytwarzaniem protonów z jąder azotu. Sceptyk mógłby jednak zawsze twierdzić (co zresztą jest istotnie słuszne), że nie można nigdy usunąć zupełnie wszelkich domieszek, zawierających wodór, i że przynajmniej część protonów musiały dostarczać naturalne promienie wodorowe. Ten zarzut udało się odeprzeć dwoma argumentami. Promienie naturalne wodorowe, wytworzone przez najszybsze cząstki $\alpha$, mają zasięg nie przewyższający 28 cm. w powietrzu, gdy tymczasem, bombardując cząstkami $\alpha$ atomy różnych pierwiastków, otrzymywano protony o zasięgu znacznie większym, dochodzącym w azocie, np., do 40 cm. W przypadku bombardowania glinu obserwowano protony, które sięgały na odległość 90 cm.; energja protonu była w tym przypadku większa od energji padającej cząstki $\alpha$. Wyrzucaniu protonu musiał więc odpowiadać wewnątrz jądra atomu jakiś rodzaj wybuchu, nadający cząstkom dodatkowy impuls. Wybuchowy charakter przetwarzania się jąder został potwierdzony, gdy R u t h e f o r d i C h a d w i c k wykazali, że protony dezintegracji można obserwować pod kątem prostym, a nawet pod kątem rozwartym, dochodzącym do 180$^0$ względem kierunku promieni $\alpha$; wynika stąd bowiem, że odłamki jądra rozpryskują się na wszystkie

strony. Tymczasem promienie wodorowe naturalne biegną zawsze w kierunku promieni α, tworząc z nimi kąt nigdy nie przewyższający $90^0$ (p. fig. 192).

W nowszych badaniach nad dezintergacją atomów używano do obserwowania promieni wodorowych najczęściej przyrządów takich, w których się ma do czynienia z protonami odchylonemi od kierunku biegu cząstek α o kąt $90^0$ i więcej. Schemat takiego przyrządu G. Kirscha i H. Peterssona widzimy na rys. 194. W *Q* znajduje się ciało promieniotwórcze, wytwarzające cząstki α; w *Z* mamy ekran do obserwowania scyntylacyj zapomocą mikroskopu *M*; *V* jest bardzo cienką blaszką mikową, przez którą swobodnie przechodzą protony; *B* jest masywną zasłoną metalową, która nie dopuszcza do ekranu cząstek *a*, idących nawprost. Substancja badana, wystawiona na działanie cząstek α, znajduje się w *s*, tworząc boczną powierzchnię stożka ściętego. Linja przerywana pokazuje bieg promieni. Jak widać, na ekran *Z* mogą podać tylko protony odchylone o kąt $90^0$. Cząstki α, odbite od *s*, mają zasięg tak zredukowany, że nie mogą dobiec do ekranu; promienie wodorowe naturalne przy tak dużym kącie odchylenia również nie wchodzą w rachubę.



Rys. 194.
Przyrząd G. Kirscha i H. Petterssona do badania dezintegracji atomów.

Posługując się wysubtelnionemi metodami, stwierdzono niezbicie, że *cząstki* α rzeczywiście *wyswabadzają z jąder atomów protony, że zatem atomy istotnie ulegają rozpadowi.* Dotychczas badania nad dezintegracją były dokonywane głównie w dwu ośrodkach naukowych: w Cambridge (prace Rutheforda i Chadwicka)

i w Wiedniu (prace Kirscha i Peterssona). W Cambridge stwierdzono niewątpliwe odszczepianie protonów od pierwiastków następujących: *B, N, F, Na, Al, P, Ne, Mg, Si, S, Cl, A, K.* Nie otrzymano natomiast ani śladów rozpadu w przypadku *Li* i *C*; nie otrzymano też promieni wodorowych, wybiegających z tlenu, miedzi i innych pierwiastków. Wiedeńscy badacze, natomiast, twierdzą z całą stanowczością, że otrzymywali protony z *Li*, węgla, tlenu i innych pierwiastków, poza wyszczególnionemi przez uczonych angielskich. Trudno jest orzec kategorycznie, która strona ma rację; wiele szczegółów eksperymentalnych wymaga jeszcze wyświetlenia. Wydaje się niewątpliwem, że niektóre przypadki rozpadu, obserwowane w Wiedniu, są najzupełniej realne, gdyż znalazły potwierdzenie w badaniach innych uczonych. Między innemi rozpad atomów węgla stwierdzili fizycy wiedeńscy tak na drodze scyntylacyjnej, jak i fotograficznej. Wyrzucanie protonów przez węgiel badał szczegółowo Dr. C. Pawłowski w laboratorjom Pani Curie w Paryżu i otrzymał rezultaty, zgodne z obserwacjami Kirscha i Peterssona. Upada zatem twierdzenie Rutherforda, że nie ulegają dezintegracji pierwiastki, których ciężary atomowe dzielą się przez cztery (ciężar at. węgla = 12).

Na pierwszy rzut oka mogą się wydać dziwnemi różnice w opinjach co do tak prostej, napozór, sprawy, jak obserwowanie scyntylacyj. Trzeba jednak mieć na względzie subtelność tych spostrzeżeń. Scyntylacje, wytwarzane przez protony, są nadzwyczaj słabe; różne drobne okoliczności mogą wpłynąć na ich zamaskowanie; między innemi — to, że preparaty radu *C* i toru *C*, używane jako źródła promieni $\alpha$, wysyłają też promienie $\beta$ i $\gamma$, które ze swej strony wywołują wtórne promienie $\beta$ i $\gamma$, wzbudzające słabe jednostajne jarzenie się ekranu scyntylacyjnego; na tle tego świecenia mogą łatwo zanikać nikłe przebłyski bombardowania protonów. Subtelność spostrzeżeń charakteryzuje regulamin pracy, przyjęty w Wiedniu. Obserwatorzy pracują tylko po 3 dni w tygodniu, za każdym razem — przez 1—$1^1/_2$ godziny; pracuje równocześnie kilka osób na zmianę; każda osoba liczy scyntylacje około 30 sek., poczem zastępuje ją dalsza.

Opisaliśmy szczegółowo scyntylacyjną metodę badania, która dotychczas głównie była stosowana. Dokonywano również badań metodą zdjęć Wilsonowskich. Najliczniejszą serję fotografij otrzymał P. M. S. Blackett (1925); dokonał on 23000 zdjęć stereoskopowych. Ze zdjęć Blackett'a wynika między innemi, że w niektórych razach cząstka $\alpha$ przystaje do jądra, z którego wy-

biega proton. Zachodzi więc w tym przypadku rodzaj syntezy pierwiastków.

Na podstawie wyżej podanych wyników badań możemy twierdzić, że w skład jąder bardzo licznych pierwiastków wchodzą protony. Hipoteza Astona o tem, że wszystkie jądra składają się z protonów, zyskała w doświadczeniach Rutherforda trwałą podstawę. Jeżeli odrzucimy niewielkie ułamki (str. 570), będziemy mogli przypuszczać, że ciężary atomowe wyrażają się liczbami dokładnie całkowitemi dlatego właśnie, że protony o masie = 1 stanowią cegiełki budowy. Odchylenia od liczb całkowitych tłumaczy Aston zagęszczeniem protonów, przyczem część masy zanika, wytwarzając równoważną ilość energji, zgodnie z poglądami teorji względności (p. str. 408). Tak, naprzykład, gdy z wodoru powstaje hel, cztery protony dają jądro helu; strata na masie musi wynosić (bierzemy ciężar at. wod. = 1.008, c. at. helu 4.000): $4 \times 1.008 - 4.000 = 0.032$. Ma być przytem wytwarzana równoważna ilość energji $E$[1]) tak, że synteza helu z wodoru stanowiłaby rodzej reakcji egzotermicznej o olbrzymiej wydajności energji i temby należało tłumaczyć niezmierną trwałość atomu helu, którego dezintegracji nigdy nie obserwowano.

Mniemanie, iż protony stanowią cegiełkę budowy wszelkich jąder atomowych, w każdym razie nie ma tak mocnych podstaw doświadczalnych, jak twierdzenie, że elektryczność ujemna w atomach występuje zawsze w postaci identycznych elektronów. Między innemi, może się wydać dziwnem, że ciała promieniotwórcze nigdy nie wyrzucają protonów.

Co dotyczy budowy wnętrza atomu, pewnem jest, że w jądrze mamy prócz protonów, jąder helu (cząstki $\alpha$), jeszcze i elektrony. Świadczą o tem przemiany radjoaktywne. Pozatem, jeżeli wszystkie jądra powstają z protonów, konieczna jest pewna liczba elektronów jądrowych dla zobojętnienia części ładunku jądra. Tak więc jądro helu, wytworzone z 4-ch protonów, powinnoby mieć poczwórny ładunek elementarny, a niesie tylko ładunek podwójny (hel zajmuje 2-gie miejsce w układzie perjodycznym); musi zatem jądro helu zawierać dwa elektrony. Czytelnik łatwo obliczy, że jądro izotopu rtęci o cięż. at. = 200 powinno posiadać 120 elektronów, jeżeli jest zbudowane z 200 protonów, gdyż rtęć zajmuje 80-te miejsce w tablicy układu pierwiastków.

Doświadczenia Rutherforda zrealizowały po raz pierwszy

---

[1]) Zgodnie z wzorem $E = mc^2$ (str. 408).

w dziejach nauki dążenia alchemiczne do sztucznej przemiany pierwiastków. W stadjum obecnem nie mogą one mieć żadnego znaczenia praktycznego. Obliczono na podstawie cyfr Rutherforda, że promienie 1 grama *Ra*, działając na glin w ciągu 3000 lat, wytworzyłyby 1 mm.$^3$ wodoru. Obecnie badacze dochodzą do bardziej optymistycznej oceny skuteczności uderzeń cząstek α; twierdzą, że nie jedna cząstka alfa na miljon uderzających, jak mniemał Rutherford, wyzwala proton, lecz — 30 na miljon. Praktycznie biorąc, nie zmienia to jednak sytuacji.

---

## Rozdział VII.

### J. J. THOMSON i E. RUTHERFORD

JOSEPH John Thomson urodził się w roku 1856. Początkowo studjował fizykę w Manchesterze pod kierunkiem Balfoura Stewart'a. Ówczesne laboratorja nie były jeszcze tak przepełnione studentami, jak to ma miejsce teraz; dzięki temu młodzi studenci korzystali z daleko większej samodzielności, niż obecnie. Pracowali z danym przyrządem po kilka tygodni i według własnego widzimisię dokonywali prób. Balfour Stewart gorąco miłował pracę naukową i umiał udzielać swe zamiłowanie innym. J. J. Thomson wspomina [1]), że kiedyś Stewart tak umiał go zająć kwestją możliwego związku pomiędzy plamami na słońcu a zmianami magnetyzmu ziemskiego, iż sam ofiarował swe usługi w opracowaniu materjału liczbowego, zebranego przez profesora. Była to robota zmudna, w gruncie rzeczy czysto arytmetyczna; „...a jednak — pisze Thomson — wydała mi się bardzo interesującą; uczucie, iż biorę pewien udział w nauce rzeczywistej, sprawiało mi radość, której nie daje samo powtarzanie doświadczeń laboratoryjnych". Wówczas też, pomagając Balfour'owi Stewart'owi w sprawdzeniu prawa zachowania masy przy reakcjach chemicznych, o mało nie stracił wzroku przy eksplozji, podczas gwałtownego łączenia się jodu z rtęcią.

Opuściwszy Manchester, przybył Thomson w roku 1876 do Cambridge. Jedynemi pracami samodzielnemi, których dokonał, były dwie rozprawki matematyczne, ogłoszone w „Messenger of Mathematics". Przez cztery pierwsze lata pobytu swego w Cambridge zaj-

---

[1]) Źródłem wiadomości była dla piszącego te słowa książka pamiątkowa „A history of the Cavendish Laboratory". Longmans, Green, and C-o, 1910, wydana dla upamiętnienia dwudziestopięcioletniego jubileuszu pracy profesorskej J. J. Thomson'a przez grono jego współpracowników i uczniów.

mował się Thomson jedynie studjami z dziedziny matematyki czystej. Uważa on, iż z tych prac nad matematyką czystą wyniósł ogromną korzyść przez rozszerzenie horyzontu myślowego; sądzi, zresztą, iż człowiek, posiadający pewną, choć nawet powierzchowną, znajomość matematyki, ma i tę przewagę nad innymi, że nie pozwala matematykom imponować sobie straszliwą nomenklaturą, w którą ci tak chętnie ubierają najprostsze twierdzenia.

Dopiero w roku 1880, otrzymawszy stopień uniwersytecki, zaczął J. J. Thomson pracować w Laboratorjum im. Cavendish'a pod kierunkiem lorda Rayleigh'a. Założone w roku 1871 Laboratorjum to już posiadało świetne tradycje. Pierwszym kierownikiem był tu Clerk-Maxwell, który pozostawał na tem stanowisku do śmierci (1879). Maxwell umiał zachęcać do pracy; wpływ jego na otoczenie był ogromny ze względu na niepospolite zalety umysłu; nie stworzył jednak Maxwell własnej szkoły, gdyż pragnął, by każdy szedł własną indywidualną drogą; również chętnie popierał przedsięwzięcia szeroko zakreślone, jak i skromne prace specjalne. Wszystkiem się interesował; praca w laboratorjum była nader różnostronna. Zgłaszano się przeważnie z własnemi pomysłami, które czerpano często z badań teoretycznych Maxwell'a.

Po Maxwell'u objął zarząd pracownią lord Rayleigh. Prace tego wielkiego uczonego w Laboratorjum im. Cavendish'a były skierowane w pierwszym rzędzie ku określeniu zasadniczych jednostek, używanych w pomiarach elektrycznych i magnetycznych. Pod kierunkiem Rayleigh'a były wykonane w Cambridge prace miernicze doniosłości ogromnej; od niego też uczyli się sztuki ścisłości pomiarów ludzie, którzy później mieli zająć najwybitniejsze miejsca w metrologji, czyli dziale wiedzy, poświęconym poznaniu jednostek,— że wspomnimy np. Glazebrooke'a. Pod kierunkiem Rayleigh'a podjął Thomson badania nad „prądami przesunięcia", które podług Maxwell'a powinny były istnieć w dielektrykach. Nie otrzymawszy wyników dość określonych, przeszedł J. J. Thomson do wyznaczenia stosunku jednostki ładunku elektrycznego w układzie elektromagnetycznym do wielkości tej samej jednostki w układzie elektrostatycznym. Jednocześnie pracował Thomson teoretycznie nad kwestją zastosowania uogólnionych równań Lagrange'a do zagadnień fizyki i chemji fizycznej. Powstała stąd później książka: „Applications of Dynamics to Physics and Chemistry". Zajmował się też w tym okresie czasu elektromagnetyczną teorją światła, własnościami ładunków w ruchu będących, ruchem

wirowym i wyładowaniem elektryczności poprzez gazy rozrzedzone. W uniwersytecie powierzono mu wykłady matematyki stosowanej.

Kiedy w roku 1884 lord Rayleigh zrezygnował ze stanowiska profesora, Thomson został powołany na to stanowisko, mając lat 28.

Epoka największego rozkwitu pracy naukowej J. J. Thomson'a przypada na okres czasu od 1895 do 1903 r. Odkrycie Röntgen'a nadało nowy impuls badaniom Thomson'a nad przechodzeniem elektryczności przez gazy. W tej dziedzinie stworzył Thomson zasadnicze pojęcia jonu i elektronu, on też pierwszy wyznaczył stałe fizyczne elektronów. Z jego odkryć i dociekań, śmiało rzec można, bierze początek cała nauka współczesna o budowie materji i strukturze elektryczności.

Ogrom pracy, dokonanej w Laboratorjum Cavendish'a, przewyższał wielokrotnie siły jednego człowieka. Zasługą J. J. Thomson'a było i to, że umiał stworzyć szkołę. Szczęśliwym zbiegiem okoliczności w tym samym roku 1895 władze akademickie udostępniły pracę w Laboratorjum im. Cavendish'a wszystkim tym, którzy, bądź posiadając stopnie naukowe uniwersytetów obcych, bądź też nie posiadając ich wcale, dawali gwarancje, iż podejmą wartościowe badania naukowe. To osłabienie formalistyki okazało się w skutkach zbawiennem. W pierwszym zaraz roku pomiędzy nowoprzybyłymi znaleźli się: Rutherford z Nowej Zelandji, Townsend z Dublina, Mc. Clelland z Galway w Irlandji i Langevin z Paryża. Wiadomo powszechnie, jak wielkie zasługi położyli ci badacze na polu przewodnictwa elektryczności w gazach i promieniotwórczości; wszyscy oni zajmują dziś najwybitniejsze stanowiska naukowe.

Z późniejszych badań J. J. Thomson'a najważniejsze były pomiary stosunku $e/m$ w promieniach kanałowych, które doprowadziły do wykrycia izotopów (p. str. 569). Stanowisko profesora i kierownika prac laboratorjum w Cambridge zajmował Thomson do r. 1918. Przejął je po nim uczeń jego, E. Rutherford. Thomson do dziś bierze czynny udział w ruchu umysłowym w dziedzinie fizyki.

Ernest Rutherford urodził się w r. 1871 w Nowej Zelandji i tam też odbył studja uniwersyteckie. Po okresie prac badawczych w Cavendish Laboratory, został w r. 1898 profesorem w Monrealu. W roku 1907 otrzymał stanowisko w Manchester, skąd w r. 1919 przeszedł do Cambridge, gdzie pozostaje do dnia dzisiejszego.

Pierwsze prace Rutherforda dotyczyły jonizacji gazów. Po-



SIR J. J. THOMSON
i SIR ERNEST RUTHERFORD

tem poświęcił się Rutherford całkowicie badaniom w dziedzinie promieniotwórczości. On pierwszy wykazał, że promienie ciał radjoaktywnych dzielą się na trzy rodzaje; on też wyjaśnił naturę cząstek $\alpha$, określił ich stałe, wyznaczył ilość cząstek $\alpha$, wyrzucanych przez gram *Ra*, przyczyniając się tem do utrwalenia podstaw atomistyki. Rutherford również wprowadził pojęcie jądra atomu, co stanowiło punkt wyjścia dla współczesnych wyobrażeń o strukturze atomu; on wreszcie dokonał sztucznego rozkładu atomów, bombardując je cząstkami $\alpha$. Obok tych głównych tematów opracowywał ten genjalny badacz jeszcze mnóstwo zagadnień ubocznych, wszędzie zwycięsko opanowując trudności eksperymentalne i rozpraszając mroki jasnością swego umysłu.

## O przechodzeniu elektryczności przez gazy, wystawione na działanie promieni Röntgen'a.

PRZEZ J. J. THOMSONA i E. RUTHERFORD'A [1]).

Łatwość, z jaką gaz przez zastosowanie i usunięcie promieni Röntgen'a może być przemieniony z przewodnika na izolator, czyni użycie tych promieni cennym środkiem dla studjowania przewodnictwa elektryczności w gazach, a badanie własności gazów w stanie, w jaki je wprowadzają promienie, obiecuje cenne wyniki w kwestjach, z tym przedmiotem związanych. W ciągu kilku minionych miesięcy wykonaliśmy szereg doświadczeń, dotyczących przechodzenia elektryczności przez gazy, wystawione na działanie tych promieni; wyniki tych doświadczeń są zawarte w poniższej rozprawie.

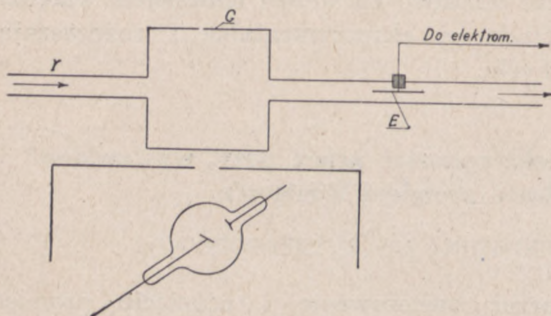
Gaz zachowuje swą zdolność przewodzenia w ciągu krótkiego czasu po przerwaniu działania nań promieni. Można to łatwo pokazać, zasłoniwszy naładowaną elektrodę od bezpośredniego wpływu tych promieni, które przez okienko aluminjowe przechodzą z rurki próżniowej do pudełka obitego blachą ołowianą. Choć niema straty ładunku, kiedy powietrze wpobliżu elektrody jest spokojne, to jednak, gdy skierowujemy na elektrodę prąd powietrza poprzez przestrzeń ponad okienkiem aluminjowem, elektroda niezwłocznie zaczyna tracić nabój.

---

[1]) On the passage of electricity through gases exposed to Röntgen Rays. By J. J. Thomson, M. A., F. R. S. Cavendish professor of experimental physics, Cambridge, and E. Rutherford, M. A., Trinity College, Cambridge, 1851 Exhibition Scholar, New Zealand University. Philosophical Magazine, 1896, t. 42, str. 392.

Aby zbadać szczegółowiej ten punkt, używaliśmy przyrządu następującego[1]).

Zamknięte naczynie glinowe umieszczano naprzeciw okienka, przez które przechodzą promienie. Do tego naczynia prowadzi rurka, przez którą powietrze może być wdmuchiwane zapomocą pary mieszków: przepływ powietrza przez rurkę mierzono zapomocą gazomierza, połączonego z rurką szeregowo; w rurce, prowadzącej do naczynia, umieszczano korek z waty szklanej w celu usunięcia pyłu. Powietrze opuszczało naczynie aluminjowe przez inną rurkę, na końcu której było umieszczone urządzenie do mierzenia szybkości straty ładunku elektrycznego (zwykle — drut naładowany do wysokiego potencjału, umieszczony wzdłuż osi rurki metalowej uziemionej, przez którą przechodził prąd gazu; jednocześnie drut był połączony z jedną parą kwadrantów elektrometru). To urządzenie było starannie ochronione od wpływu bezpośredniego promieni; nie było strat, dopóki prąd powietrza nie przechodził przez przyrząd; gdy jednak płynął prąd powietrza, zachodziła znaczna strata, wskazująca, że powietrze, po wystawieniu na działanie promieni, zachowywało swoją zdolność przewodzenia przez czas (około $^1/_2$ sekundy), który zużywało na przejście od naczynia glinowego do naładowanej elektrody.



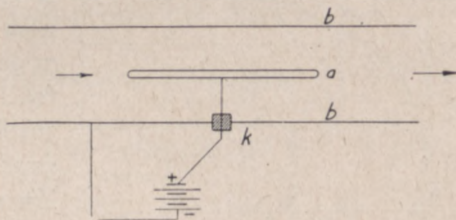

Rys. 195.

Próbowaliśmy zbadać, czy przewodnictwo gazu nie będzie niszczone przez ogrzewanie go podczas przechodzenia od miejsca, gdzie był wystawiony na działanie promieni, do miejsca, gdzie badano jego przewodnictwo. W tym celu włączano kawałek rurki porcelanowej, który ogrzewano do białości; gaz po przejściu przez tę rurkę był tak gorący, że ręka nie mogła wytrzymać prądu jego, lecz przewod-

[1]) Układ doświadczenia jest pokazany na rys. 195. Przez rurkę *r* przechodzi powietrze w kierunku wskazanym strzałką. Wewnątrz naczynia glinowego *G* gaz jest wystawiony na działanie promieni *X*, idących od antykatody *A* rurki R ö n t g e n'owskiej. *E* oznacza elektrodę, połączoną z elektrometrem. Elektroda jest osadzona na pręcie, przechodzącym przez korek izolujący. (Oryginał nie zawiera rys. 195).

nictwo wydawało się bynajmniej niezakłóconem. Kiedy jednak pęcherzyki gazu bulgoczą, przechodząc przez wodę, wówczas znika, zda się, wszelki ślad przewodnictwa. Gaz tracił również swe przewodnictwo, kiedy go przepuszczano przez korek z waty szklanej, choć przepływ był ten sam, co i w doświadczeniu, które dawało szybką stratę. Kiedy ten sam korek był umieszczony wewnątrz układu rurek, zanim gaz dochodził do naczynia, w którem był wystawiony na działanie promieni Röntgen'a, wówczas przewodnictwo nie było zmniejszone. To doświadczenie zdaje się pokazywać, że struktura, dzięki której gaz jest przewodnikiem, jest tak gruba (coarse), że nie może znieść przejścia przez małe pory w korku z waty szklanej. Diafragma z delikatnej siatki drucianej lub muślinu zdaje się nie wpływać na przewodnictwo.

Wiele do myślenia daje wynik przechodzenia prądu elektrycznego przez gaz na jego drodze pomiędzy naczyniem glinowem, gdzie jest wystawiony na działanie promieni Röntgen'a, a miejscem, gdzie się bada jego przewodnictwo. Zbadaliśmy to, włączając w obwód rurkę metalową, wzdłuż osi której był umieszczony drut izolowany, połączony z jednym biegunem baterji małych akumulatorów, gdy drugi biegun baterji był połączony z rurką metalową; tym sposobem przy przechodzeniu gazu przez rurkę, przesyłano przezeń prąd elektryczności[1]). Przechodzenie prądu z kilku ogniw wystarczało, by znacznie zmniejszyć przewodnictwo gazu, przechodzącego przez rurkę, a przez powiększenie liczby ogniw przewodnictwo gazu mogło być zupełnie zniszczone. Tym sposobem prąd elektryczny przy swem przechodzeniu niszczy osobliwy stan, w którym znajduje się gaz wskutek działania promieni Röntgen'a. Niszczy ten stan prąd, a nie — pole elektryczne; albowiem, gdy środkowy drut jest zamknięty w rurce szklanej, która zatrzymuje tym sposobem prąd, a po-



Rys. 196.

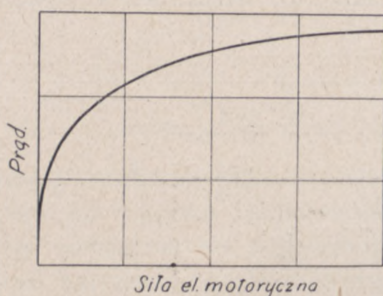
---

[1]) Włączona w obwód rurka była połączona z biegunami baterji w sposób pokazany na rys. 196. Biegun dodatni, np., łączono z walcem wewnętrznym, izolowanym od rurki zapomocą korka *k*; od bieguna ujemnego prowadził drut do rury zewnętrznej. W przestrzeni pomiędzy *a* i *b* powstawało wówczas pole elektryczne. (Oryginał nie zawiera rys. 196).

zostawia pole elektryczne, gaz przechodzi przez rurkę, zachowując swe przewodnictwo nienaruszonem. Prąd wywiera na gaz to samo działanie, któreby wywierał w nader słabym roztworze elektrolitu. Wyobraźmy sobie bowiem, że przez rurki zamiast gazu przepływa roztwór; wówczas, gdyby przez roztwór przeszło dość elektryczności, aby rozłożyć cały elektrolit, roztwór, po wyjściu z rurki, byłby nieprzewodnikiem; i to właśnie zachodzi w przypadku gazu. Zobaczymy, że analogja pomiędzy rozcieńczonym roztworem elektrolitu i gazem, wystawionym na działanie promieni R ö n t g e n'a, zachowuje swą wartość w obszernym zakresie, i znaleźliśmy, że ona jest wielce pożyteczna dla wytłumaczenia wielu charakterystycznych własności przewodnictwa w gazach [1]).

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Ten fakt, że przechodzenie przez gaz prądu elektryczności niszczy jego przewodnictwo, tłumaczy nader charakterystyczną własność straty elektryczności w gazach, wystawionych na działanie promieni R ö n t g e n'a; mianowicie, przy danem natężeniu promieniowania, prąd w gazie nie przewyższa pewnej wartości maksymalnej, niezależnie od wielkości siły elektromotorycznej, — prąd staje się jakby „nasyconym". Związek pomiędzy siłą elektrobodźczą i prądem jest pokazany na dołączonej krzywej (rys. 197), gdzie rzędne dają prąd, a odcięte — siłę elektrobodźczą. Jest oczywistem, że to nasycenie musi zachodzić, kiedy prąd niszczy zdolność przewodzenia gazu, i prądem maksymalnym będzie prąd, który niszczy przewodnictwo w tej samej mierze, w jakiej ta własność jest wytwarzana przez promienie R ö n t g e n'a.



Rys. 197.

[1]) (Tł). Analogja sięga bardzo daleko. Z tej więc racji mówi się o jonizacji gazu. Jednak, co dotyczy natury jonów gazowych, należy przyznać, iż nauka nie posiada jeszcze na nie poglądu zupełnie zadawalającego. Wiele faktów doświadczalnych zdaje się przemawiać za tem, że jony składają się z jądra naładowanego elektrycznością, otoczonego jakby atmosferą cząstek obojętnych, utrzymywanych w swych pozycjach przez siły elektrostatyczne. Przypuszcza się również, a znajduje to potwierdzenie doświadczalne, że aładunek jonów gazowych jest ten sam, co i ładunek jonów w elektrolitach.

Autorowie ujmują dalej w formę matematyczną myśl o przewodnictwie zapomocą jonów. Wzory prowadzą do ciekawego wniosku: opór elektryczny gazu, o ile jest osiągnięty prąd nasycenia, powinien zmniejszać się wraz z powiększeniem odległości elektrod. Konieczność tego można jednak zrozumieć i bez wzorów. Prąd powstaje wskutek poruszania się jonów w polu elektrycznem. W stanie nasycenia wszystkie jony są przez pole zabierane; przy większej odległości elektrod, mamy więcej jonów rozporządzalnych, a zatem i prąd nasycenia — silniejszy. Dajemy poniżej wyniki badań oryginalnych.

...Prąd graniczny jest proporcjonalny do odległości pomiędzy elektrodami tak, iż, kiedy się zbliżamy do nasycenia, prąd będzie wzrastał w miarę wzrastania odległości pomiędzy elektrodami, i otrzymujemy ten, na pierwszy rzut oka, paradoksalny wynik, że cienka warstwa powietrza okazuje przechodzeniu prądu opór większy, niż warstwa grubsza. Łatwo jednak zdać z tego sprawę, pamiętając, że w warstwie grubszej mamy więcej cząsteczek przewodzących, niż w warstwie cieńszej, a zatem i prąd, potrzebny do zniszczenia ich, będzie większy.

Doświadczenia pokazują, że wpływ odległości pomiędzy elektrodami (dwie płyty równoległe) na prąd jest bardzo silnie zaznaczony. Następująca tabelka pokazuje wynik niektórych doświadczeń, dotyczących tej kwestji.

Różnica potencjału pomiędzy elektrodami 60 woltów.

| Odległość pomiędzy elektrodami w mm. | Prąd (w dowolnych jednostkach) |
|---|---|
| 0.1 | 9 |
| 0.12 | 15 |
| 0.25 | 21 |
| 0.5 | 37 |
| 1 | 50 |
| 1.5 | 62 |
| 3 | 91 |
| 8 | 110 |

Przy dużych różnicach potencjału prąd był nasycony we wszystkich doświadczeniach.

. . . . . . . . . . . . . . . . .

Pomiar wielkości wyładowania, kiedy prąd jest nasycony, pozwala nam ocenić liczbę cząsteczek przewodzących, obecnych w gazie; albowiem w tym przypadku liczba cząsteczek przewodzących, wytworzonych przez promienie w ciągu jednostki czasu, równa jest ilości elektrolitu, zniszczonej przez prąd w ciągu tego samego czasu. Weźmy przypadek wodoru; przy prądzie nasyconym strata elektryczności płyt, o powierzchni około 10 cm.$^2$ każda, odległych od siebie o 1 cm., wynosiła 1 wolt na sekundę, kiedy z elektrometrem była połączona pojemność wielkości około 30 cm. Tym sposobem ilość elektryczności, przechodząca pomiędzy płytami w ciągu jednej sekundy, wynosiła około $10^{-1}$ jednostek elektrostatycznych lub $\frac{1}{3 \times 10^{11}}$ jednostek elektromagnetycznych, i ta ilość jest dostateczna, aby zelektrolizować cały gaz elektrolityczny, wytworzony przez promienie Röntgen'a. Z drugiej strony 1 jednostka elektromagnetyczna wyswabadza $10^{-1}$ gramów wodoru lub około 1 cm.$^3$ w zwykłej temperaturze i pod ciśnieniem atmosferycznem. A zatem $\frac{1}{3 \times 10^{11}}$ jedn. elektromagnetycznych odpowiada prawie takiej samej liczbie cent. sześciennych wodoru; objętość przestrzeni pomiędzy elektrodami wynosiła około 10 cm.$^3$; tym sposobem w doświadczeniu tem ułamek gazu zelektrolizowanego wynosił tylko $\frac{1}{3 \times 10^{12}}$, to jest jedną trzybiljonową całkowitej ilości gazu. Nie dziw, że niektóre doświadczenia, czynione przez nas, aby się przekonać, czy przy przechodzeniu promieni Röntgen'a zachodzi jakakolwiek zmiana w ciśnieniu, musiały dać wyniki ujemne.

---

## Rozdział VIII.

## PROMIENIE KATODOWE.

Przez J. J. THOMSON'A,

M. A., F. R. S., profesora fizyki doświadczalnej na katedrze im. Cavendish'a w Cambridge [1]).

DOŚWIADCZENIA, roztrząsane w tej rozprawie, były przedsięwzięte w nadziei zdobycia pewnych danych co do natury promieni katodowych. Co do promieni tych są wygłaszane najbardziej różnorodne mniemania. Zgodnie z jednomyślnem prawie zdaniem fizyków niemieckich, powstają one dzięki jakiemuś procesowi w eterze, który nie ma sobie analogicznego pomiędzy dotychczas obserwowanemi, jako że w jednorodnem polu magnetycznem bieg promieni tych jest kolisty, a nie — prostolinjowy. Inny pogląd na te promienie orzeka, iż one nie są wcale natury eterowej, lecz są w rzeczywistości zupełnie materjalne i że znaczą drogi cząsteczek materji, naładowanych elektrycznością ujemną. Zdawałoby się na pierwszy rzut oka, że nie powinno być trudno rozstrzygnąć pomiędzy poglądami tak różnemi, lecz doświadczenie pokazuje, że rzecz się ma inaczej, gdyż pomiędzy fizykami, którzy przedmiot ten najgłębiej badali, można znaleźć stronników obydwu teoryj.

Teorja cząsteczek naelektryzowanych ma z punktu widzenia badań wielką przewagę nad teorją eterową, gdyż jest wyraźnie określona, i wyniki z niej wypływające mogą być przepowiedziane; w teorji eterowej jest niepodobieństwem przewidzieć, co zajdzie w jakichkolwiek danych okolicznościach, gdyż podług teorji tej mamy tu do czynienia z dotychczas nieobserwowanemi zjawiskami w eterze, których praw nie znamy.

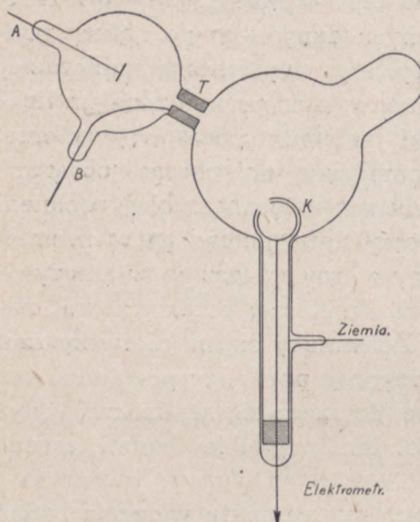
Następujące doświadczenia były wykonane celem sprawdzenia niektórych wniosków teorji cząsteczek naelektryzowanych.

---

[1]) Cathode Rays. By J. J. Thomson, M. A., F. R. S., Cavendish professor of experimental physics, Cambridge. Philosophical Magazine, 1897, t. 44, str. 293

**Ładunek, niesiony przez promienie katodowe.**

Jeżeli te promienie są cząsteczkami naelektryzowanemi ujemnie, w takim razie, wchodząc w przestrzeń zamkniętą, powinnyby wnosić w nią ładunek elektryczności ujemnej. Że tak jest, było dowiedzione przez Perrin'a [1]), który umieścił naprzeciw płaskiej katody dwa spółosiowe walce metalowe, izolowane jeden od drugiego; walec zewnętrzny był połączony z ziemią, a walec wewnętrzny — z elektroskopem o złotych listkach. Te cylindry były zamknięte, z wyjątkiem dwu małych otworów, zrobionych każdy w jednym z nich; były one tak umieszczone, że promienie katodowe mogły przez nie przejść do środka walca wewnętrznego. Perrin znalazł, że, kiedy promienie przechodziły do walca wewnętrznego, elektroskop otrzymywał ładunek elektryczności ujemnej, gdy tymczasem żaden ładunek nie dochodził do elektroskopu, kiedy promienie były odchylane przez magnes tak, że już nie przechodziły przez otwór.



Rys. 198.

To doświadczenie dowodzi, że coś naładowanego elektrycznością ujemną jest wyrzucane przez katodę, przyczem biegnie to coś prostopadle względem katody; jest ono odchylane przez magnes. Jednak to doświadczenie dopuszcza zarzut, iż nie dowodzi ono, że przyczyna elektryzacji elektroskopu ma jakikolwiek związek z promieniami katodowemi. Albowiem stronnicy teorji eterowej nie zaprzeczają, iż cząsteczki naelektryzowane są wyrzucane przez katodę, przeczą oni jednak temu, aby te cząstki naładowane miały cokolwiek więcej związku z promieniami katodowemi, niż go ma kula karabinowa z błyskiem, który powstaje przy wystrzale. Dlatego też powtórzyłem doświadczenie Perrin'a w formie, która nie dopuszcza tego zarzutu. Użyty układ doświadczenia był następujący. Dwa walce spółśrodkowe (rys. 198), zaopatrzone w szpary, umieszczono w rurce

[1]) W r. 1895. *(Tł.)*.

bocznej, połączonej z rurą wyładowań; promienie katodowe od katody A dochodzą do rurki bocznej przez szparę w korku metalowym, ściśle przylegającym do szyjki rurki bocznej; ten korek jest połączony z anodą i z ziemią. Tym sposobem promienie katodowe nie padają wewnątrz cylindrów, o ile nie są odchylane przez magnes. Cylinder zewnętrzny jest połączony z ziemią, wewnętrzny — z elektrometrem. Kiedy promienie katodowe (które znaczyły swą drogę przez fosforoscencję na szkle) nie padały na szparę, ładunek elektryczny, wysyłany elektrometrowi, kiedy puszczano w ruch cewkę indukcyjną, wytwarzającą promienie, był mały i nieregularny; gdy jednak promienie były zaginane przez magnes tak, że padały na szparę, to ku elektrometrowi był wysyłany duży ładunek elektryczności ujemnej. Zdziwiła mnie nieoczekiwana wielkość naboju; w niektórych przypadkach przez wąską szparę przechodziło do walca wewnętrznego dość elektryczności, aby w ciągu jednej sekundy zmienić potencjał kondensatora o pojemności 1.5 mikrofarada o 40 woltów. Gdy promienie były tak silnie zaginane przez magnes, że przebiegały poza szparą walca, ładunek, wchodzący do walca, znów spadał do małego ułamka swej wartości poprzedniej, to jest, — kiedy promienie trafiały do celu. Tak więc to doświadczenie pokazuje, że, gdy skręcamy i odchylamy promienie katodowe zapomocą sił magnetycznych, elektryzacja ujemna jest nierozerwalnie związana z promieniami katodowemi.

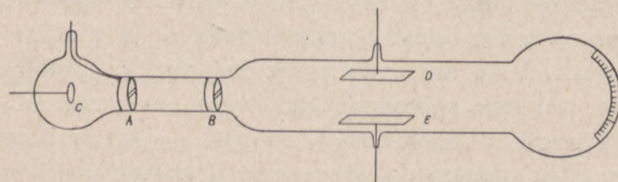
. . . . . . . . . . . . . . . . .

**Odchylenie promieni katodowych przez pola elektrostatyczne.**

Jako silny dowód przeciwko poglądowi, że promienie katodowe są cząstkami naelektryzowanemi ujemnie, bardzo powszechnie podają to, że dotąd nie obserwowano odchylenia tych promieni pod wpływem małej siły elektrostatycznej. Chociaż promienie są odchylane, kiedy przechodzą wpobliżu elektrod, połączonych ze źródłami znacznych różnic potencjału, jak cewki indukcyjne lub machiny elektryczne, to jednak zwolennicy teorji eterowej uważają, że w tym przypadku odchylenie powstaje wskutek wyładowania, przechodzącego pomiędzy elektrodami, nie zaś na skutek pola elektrostatycznego, jako przyczyny pierwotnej. H e r t z przepuszczał promienie pomiędzy dwiema płytami metalowemi, umieszczonemi wewnątrz rurki wyładowań, lecz znalazł, że promienie nie były odchylane, kiedy płyty były połączone z baterją akumulatorów. Powtarzając to doświadczenie, otrzy-

małem z początku ten sam wynik, lecz doświadczenia następne pokazały, że brak odchylenia jest spowodowany przewodnictwem, nadanem gazowi rozrzedzonemu przez promienie katodowe. Mierząc to przewodnictwo, znaleziono, że ono zmniejsza się nader prędko, gdy stopień rozrzedzenia wzrasta; zdawało się, że, próbując doświadczenia H e r t z'a przy bardzo silnych rozrzedzeniach, możnaby mieć dane do wykrycia odchylenia promieni katodowych zapomocą siły elektrostatycznej.

Użyty przyrząd jest przedstawiony na rys. 199. Promienie, idące od katody *C*, przechodzą przez szparę w anodzie *A*, którą stanowi korek metalowy, szczelnie przylegający do rurki i połączony z ziemią; po przejściu przez drugą szparę w drugim korku metalowym *B*, połączonym z ziemią, biegną one pomiędzy dwiema równoległemi



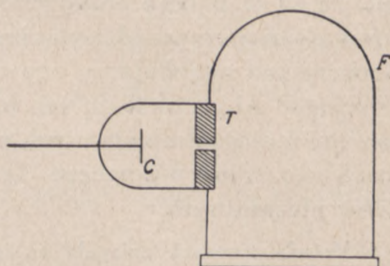

Rys. 199.

płytkami glinowemi, które mają około 5 cm. długości, 2 cm. szerokości i są odległe od siebie o 1.5 cm.; wówczas padają promienie na koniec rurki i wytwarzają wąską plamkę fosforyzującą o ostrych konturach. Skala, przyklejona na stronie zewnętrznej rurki, służy do mierzenia odchylenia tej plamki. Przy silnych rozrzedzeniach promienie były odchylane, kiedy płytki aluminjowe łączono z biegunami baterji małych akumulatorów. Promienie były odpychane na dół, kiedy płyta górna była połączona z ujemnym biegunem baterji, a dolna — z dodatnim, i były podnoszone, kiedy płyta górna była połączona z biegunem dodatnim, a dolna — z ujemnym. Odchylenie było proporcjonalne do różnicy potencjału pomiędzy płytami, i mogłem wykryć odchylenie wtedy nawet, gdy różnica potencjałów była niewiększa od dwu woltów.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

**Odchylenie magnetyczne promieni katodowych w różnych gazach.**

Odchylenie promieni katodowych w polu magnetycznem badano zapomocą przyrządu, pokazanego na rys. 200. Katoda była umieszczona w rurce bocznej, przymocowanej od klosza; otwór pomiędzy tą rurką i kloszem był zamknięty zapomocą korka metalowego (*T*), zaopatrzonego w szparę; ten korek był połączony z ziemią i był używany jako anoda. Promienie katodowe dochodziły do klosza przez szparę, biegnąc w nim wzdłuż powierzchni szklanej płyty pionowej, podzielonej na małe kwadraty. Klosz umieszczano pomiędzy dwiema dużemi cewkami równoległemi, urządzonemi na wzór cewek galwanometru H e l m h o l t z'a. Bieg promieni określano, robiąc zdjęcie fotograficzne klosza podczas przejścia przezeń promieni katodowych; podziałki na płytce pozwalały określić tor promieni.



Rys. 200.

Badania utrudniała ta okoliczność, że wiązka promieni nie była jednorodna i pod wpływem pola magnetycznego rozszczepiała się na kilka części niejednakowo odchylanych.

Fotografje uwydatniły jeden punkt nader interesujący — mianowicie, że, w danem polu magnetycznem i przy danej przeciętnej różnicy potencjałów pomiędzy elektrodami, droga promieni nie zależy od natury gazu. Były wykonane zdjęcia wyładowań w wodorze, powietrzu, dwutlenku węgla, jodku metylu, to jest w gazach, których gęstości są zawarte pomiędzy 1 a 70, a jednak nietylko drogi najbardziej odchylanych promieni były te same we wszystkich przypadkach, lecz nawet szczegóły takie, jak rozmieszczenie odstępów jasnych i ciemnych, były te same, i rzeczywiście, z trudnością można było odróżnić jedne fotografje od drugich; ciśnienia nie były te same; ciśnienia w różnych gazach tak były dobrane, żeby przeciętne różnice potencjału pomiędzy katodą i anodą były we wszystkich gazach te same. Kiedy się się obniża ciśnienie gazu, różnica potencjałów pomiędzy elektrodami wzrasta, i odchylenie promieni, wywołane przez magnes, zmniejsza się, lub w każdym razie zmniejsza się odchylenie promieni, kiedy fosforescencja jest maksymalna. Włączenie iskiernika daje ten sam skutek.

Ponieważ promienie katodowe niosą ładunek elektryczności ujemnej, odchylane są przez siłę elektrostatyczną, jak gdyby były naelektryzowane ujemnie, i siła magnetyczna działa na nie tak właśnie, jakby działała na ciało naelektryzowane ujemnie, poruszające się wzdłuż drogi tych promieni, wydaje mi się przeto nieuniknionym wniosek, że to są naboje elektryczne, przenoszone przez cząstki materji. Powstaje najsamprzód pytanie: czem są te cząsteczki? czy one są atomami lub molekułami, czy też materją w stanie podziału subtelniejszego? Aby rzucić na ten punkt nieco światła, wykonałem szereg pomiarów stosunku masy tych cząsteczek do ładunku przez nie przenoszonego. Aby wyznaczyć tę wielkość, używałem dwu metod od siebie niezależnych.

Metoda pierwsza polegała na tem, że autor określał ładunek, przenoszony przez promienie i ich energję kinetyczną, a zarazem obserwował ich odchylenie w polu magnetycznem danego natężenia. Te pomiary prowadzą do dwu prostych równań, zawierających dwie niewiadome $\frac{m}{e}$ i $v$, to jest stosunek masy do ładunku i prędkość promieni. Ta metoda, ze względu na trudności doświadczalne, nie dała wyników równie dokładnych, jak metoda odchylenia w polu elektrycznem i magnetycznem (p. opis tej metody na str. 556). Poniżej dajemy wyciąg z tabeli spostrzeżeń oryginalnych. $H$ oznacza natężenie pola magnetycznego, $F$ — nat. pola elektrycznego, $l$ — długość drogi, którą promienie przebiegają w polu elektrycznem; wszystkie wielkości są wyrażone w jednostkach elektromagnetycznych bezwzględnych.

| G A Z | $H$ | $F$ | $l$ | $\frac{m}{e}$ | $v$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Powietrze . . . . . | 5.5 | $1.5\times10^{10}$ | 5 | $1.3\times10^{-7}$ | $2.8\times10^{9}$ |
| Powietrze . . . . . | 5.4 | $1.5\times10^{10}$ | 5 | $1.1\times10^{-7}$ | $2.8\times10^{9}$ |
| Powietrze . . . . . | 6.6 | $1.5\times10^{10}$ | 5 | $1.2\times10^{-7}$ | $2.3\times10^{9}$ |
| Wodór . . . . . . . | 6.3 | $1.5\times10^{10}$ | 5 | $1.5\times10^{-7}$ | $2.5\times10^{9}$ |
| Dwutlenek węgla . . | 6.9 | $1.5\times10^{10}$ | 5 | $1.5\times10^{-7}$ | $2.2\times10^{9}$ |
| Powietrze . . . . . | 5 | $1.8\times10^{10}$ | 5 | $1.3\times10^{-7}$ | $3.6\times10^{9}$ |
| Powietrze . . . . . | 3.6 | $1\times10^{10}$ | 5 | $1.1\times10^{-7}$ | $2.8\times10^{9}$ |

W pierwszych pięciu doświadczeniach katoda była z glinu, w dwu ostatnich — z platyny; w ostatniem doświadczeniu zastosowano Sir Williama Crookes'a metodę usuwania pary rtęci przez włączanie pomiędzy pompę a rurkę próżniową rurki z siarką tłuczoną, jodkiem siarki i strużkami miedzianemi.

. . . . . . . . . . . . . . . .

Z tych wyznaczeń widzimy, że wartość $\frac{m}{e}$ nie zależy od natury gazu, i że wartość tego stosunku $10^{-7}$ jest bardzo mała w porównaniu z wartością $10^{-4}$, która jest najmniejszą wartością tej wielkości, jaką znano poprzednio, a która została znaleziona w przypadku jonu wodorowego w elektrolizie [1]).

Tak więc dla cząstek, niosących elektryczność w promieniach katodowych, ułamek $\frac{m}{e}$ jest bardzo mały w porównaniu z jego wartością w elektrolizie. Mała wartość $\frac{m}{e}$ może zależeć bądź od tego, że *m* jest małe, bądź od tego, że *e* jest wielkie, bądź od kombinacji tych dwu przyczyn.

. . . . . . . . . . . . . . . . . .

Jak mniemam, tłumaczenie, zdające sprawę z faktów w sposób najprostszy i najbardziej bezpośredni, jest oparte na poglądzie na budowę pierwiastków chemicznych, który był przychylnie przyjęty przez wielu chemików: ten pogląd polega na tem, że atomy różnych pierwiastków chemicznych są różnorodnemi agregatami atomów tego samego rodzaju. W formie, w której hipoteza ta była wypowiedziana przez P r o u t'a, atomy różnych pierwiastków byłyby atomami wodoru; w tej określonej formie hipoteza nie da się utrzymać; lecz, jeżeli zastąpimy wodór jakąś nieznaną materją pierwotną *X*, to nie znajdziemy faktów z hipotezą taką niezgodnych. Taką hipotezę podtrzymywał niedawno Sir Norman L o c k y e r dla racyj, wynikających z badań nad widmami gwiazd.

Gdyby w bardzo silnem polu elektrycznem, w sąsiedztwie katody molekuły gazu doznawały dysocjacji i były rozszczepiane nie na zwyczajne atomy chemiczne, lecz na te praatomy, które gwoli krótkości będziemi nazywali korpuskułami, i gdyby te korpuskuły były naładowane elektrycznością i wyrzucane od strony katody przez pole elektryczne, to one zachowywałyby się ściśle tak, jak się zachowują promienie katodowe. Dawałyby one oczywiście wartość $\frac{m}{e}$, niezależną od natury gazu i jego ciśnienia, gdyż cząstki, niosące ładunek, byłyby te same, niezależnie od gazu.

. . . . . . . . . . . . . . . . . .

---

[1]) Na str. 554 podaliśmy dokładne wartości stosunku odwrotnego, t. j. stosunku $e/m$. Średnia wartość stosunku $e/m$, według pomiarów Thomsona $= 0.77 \times 10^7$, gdy wartość obecnie przyjęta $= 1.76 \times 10^7$. W każdym razie rząd wielkości był ten sam, i konkluzje pozostają niezmienione. *(Tł.)*.

Tak więc, w myśl tego poglądu, mamy w promieniach katodowych materję w nowym stanie, — stanie, w którym podział materji doprowadzony został nierównie dalej, niż w zwykłym stanie lotnym, — w stanie, w którym wszelka materja, — to jest materja, pochodząca z różnych źródeł, takich, jak wodór, tlen i t, p., jest jednego i tego samego rodzaju. Ta materja jest substancją, z której są zbudowane wszystkie pierwiastki chemiczne.

Przy użyciu przyrządów wielkości zwykłej ilość materji, wytworzonej wskutek dysocjacji koło katody, jest tak mała, iż wyklucza niemal możliwość jakiegokolwiek badania chemicznego jej własności. Tak np. obliczyłem, że gdyby cewka, której używałem, była w ciągu roku w ruchu nieustannym w dzień i w nocy, to wytworzyłaby tylko około jednej trzymiljonowej części grama tej substancji.

. . . . . . . . . . . . . . . .

---

## Rozdział IX.

## MARJA SKŁODOWSKA - CURIE.

MARJA Skłodowska-Curie, najmłodsza córka Władysława Skłodowskiego, nauczyciela szkół warszawskich, urodziła się w roku 1867. Dzieciństwo spędziła w domu rodzicielskim. Wykształcenie średnie odebrała w gimnazjum w Warszawie; nauki ukończyła z medalem złotym. Następnie przez lat kilka była nauczycielką prywatną po części na wsi w Płockiem, po części w Warszawie, gdzie przed wyjazdem do Paryża pracowała w pracowni Fizycznej Muzeum Przemysłu i Rolnictwa.

W dziedzinie fizyki pierwszym kierownikiem przyszłej uczonej był jej ojciec. W ćwiczeniach analityczno-chemicznych, któremi P. Skłodowska zajmowała się w pracowni chemicznej Muzeum Przemysłu i Rolnictwa, udzielali jej rad i wskazówek: Napoleon Milicer i Dr. Ludwik Kossakowski

Wyjeżdżając zagranicę, posiadała panna Skłodowska dokładną znajomość matematyki (włączając tu rachunek różniczkowy i całkowy), miała też duży stopień przygotowania praktycznego w dziedzinie fizyki i chemji.

Z temi zasobami wiedzy udała się do Paryża, gdzie w roku 1893 uzyskała licencjat nauk fizycznych, w roku 1894 — licencjat nauk matematycznych, w roku 1896 — prawo nauczania w szkołach średnich, a w roku 1903 — doktorat.

Od r. 1898 rozpoczyna się okres samodzielnych publikacyj naukowych p. Skłodowskiej-Curie. Jedna z pierwszych prac nosiła tytuł: „Sur les propriétés des aciers trempés" (O własnościach stali hartowanej). W badaniach tych chodziło o wyjaśnienie związku pomiędzy własnościami magnetycznemi a składem chemicznym i temperaturą hartowania różnych rodzajów stali. Badania te dotyczyły

nietylko zwykłych gatunków stali, lecz — i stali, zawierającej domieszki baru, miedzi, manganu, niklu, wolframu, molibdenu. Ta nadzwyczajnie systematyczna, staranna i mozolna praca została nagrodzona przez Towarzystwo Przemysłowe w Lille medalem złotym Kuhlmann'a.

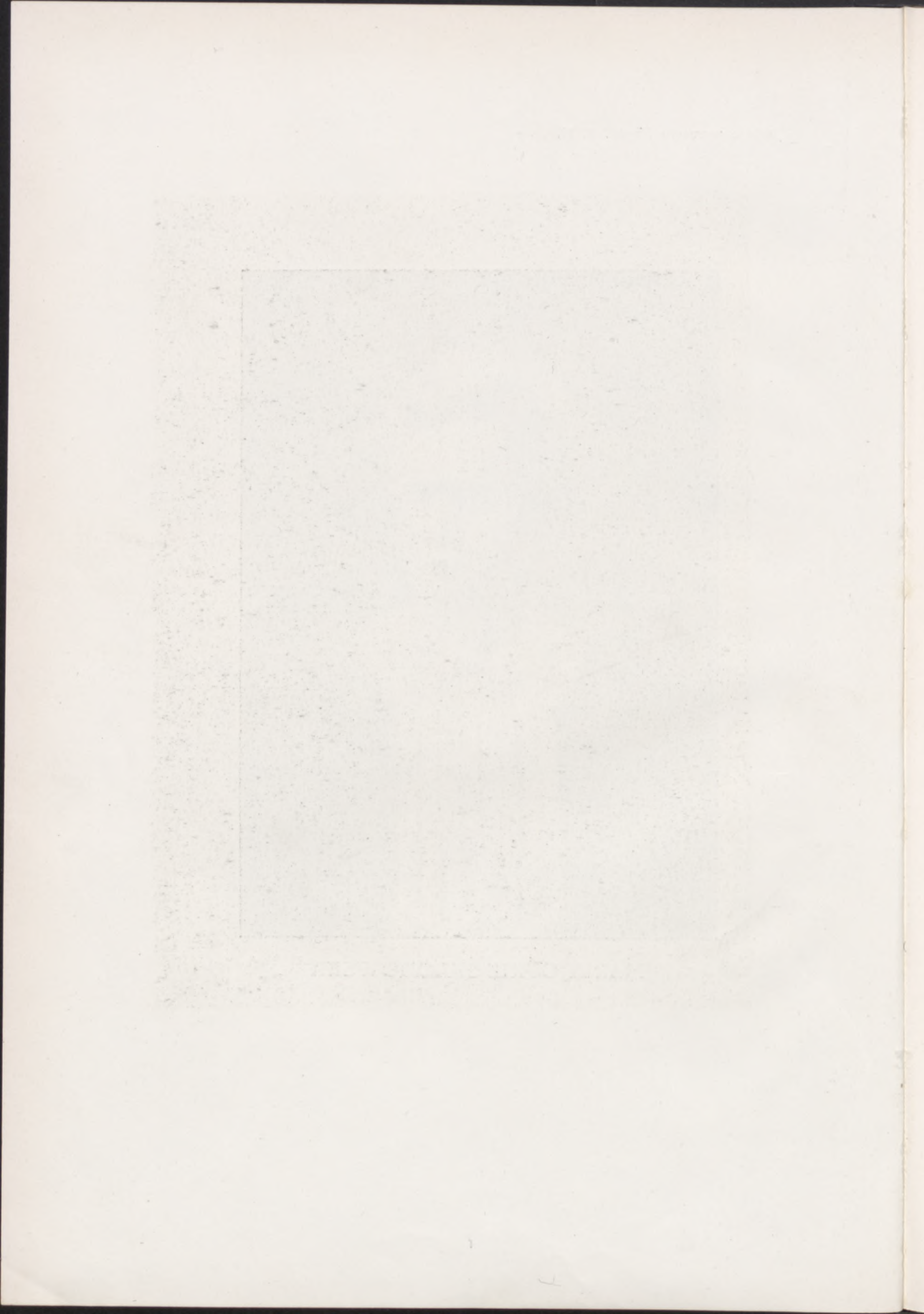
Reszta działalności p. Curie została poświęcona badaniu ciał promieniotwórczych. Historję odkrycia promieniotwórczości znajdą czytelnicy poniżej w rozprawie orginalnej p. Curie i w biografji Piotra Curie jej pióra. Dla łatwiejszej orjentacji wskażemy tylko na kilka najważniejszych punktów w działalności naukowej państwa Curie i samej pani Curie, po śmierci męża: 1. Odkrycie, iż promieniotwórczość jest własnością atomową pierwiastków. 2. Stworzenie metody badania ciał promieniotwórczych. 3. Odkrycie radu i polonu. 4. Odkrycie osadu promieniotwórczego (promieniotwórczości wzbudzonej). 5. Wyznaczenie ciężaru atomowego radu. 6. Otrzymanie radu metalicznego (wspólnie z p. Debierne).

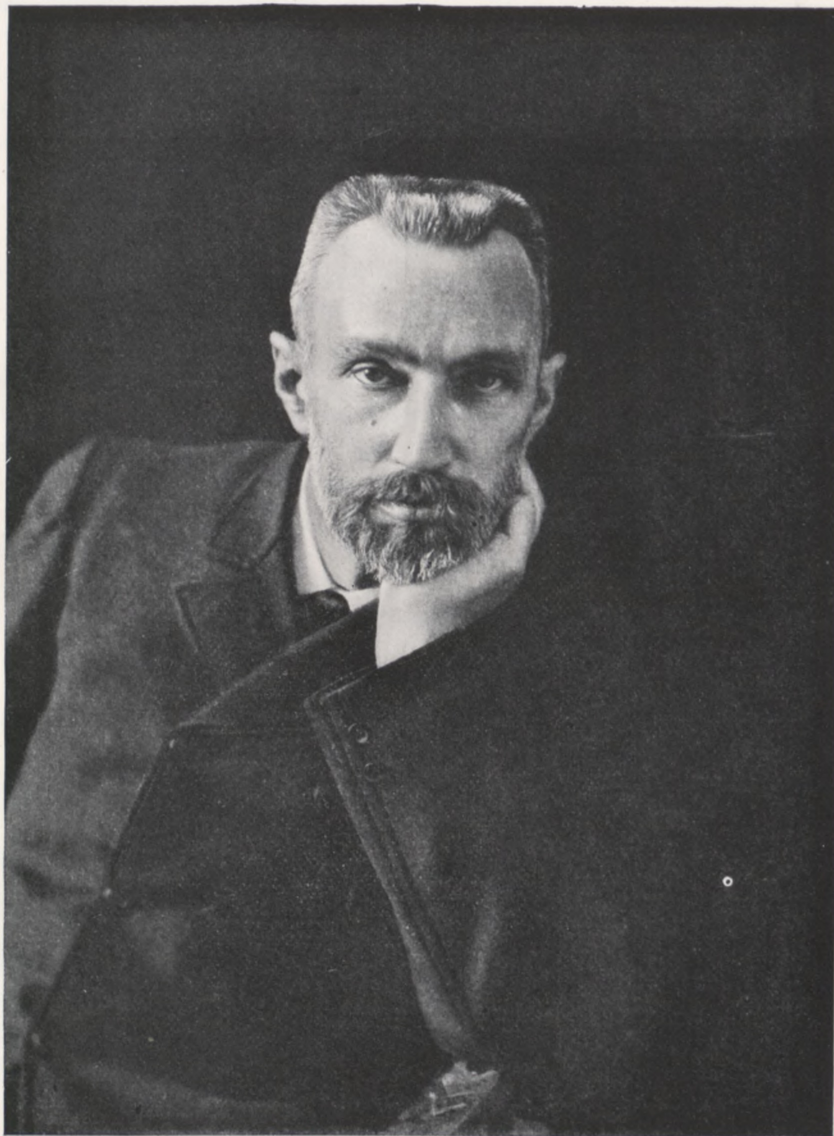
W roku 1906 została p. Curie kierowniczką pracowni fizyki ogólnej w Sorbonnie. Ta pracownia była mało przystosowana do prac nad zjawiskami promieniotwórczości. Już w roku 1912 zapadła w sferach miarodajnych uchwała wybudowania specjalnego instytutu badań w dziedzinie promieniotwórczości. W czasie wojny światowej zostały wzniesione pawilony Institut du Radium, który dzieli się na dwie sekcje: jedna, poświęcona badaniom fizyczno-chemicznym, pozostaje pod zarządem p. Curie i związana jest z Sorbonną; druga przeznaczona została na prace, dotyczące biologicznego oddziaływania ciał promieniotwórczych i pozostaje pod zarządem Instytutu Pasteura. W swem nowem laboratorjum oddała się p. Curie intensywnej pracy naukowej, kierując jednocześnie badaniami licznego zespołu uczonych, którzy rekrutują się z całego świata. Laboratorjum p. Curie ogłosiło setki prac naukowych; do najważniejszych należały badania nad polonem, nad widmem linjowem promieni $\beta$, nad widmem promieni $\alpha$, badania nad odskokiem promieniotwórczym, nad ugrupowaniami osadu promieniotwórczego, nad redukcją zasięgu promieni $\alpha$ przy przechodzeniu przez materję.

W roku 1913, w związku z pobytem p. Curie w kraju, powstała w Warszawie przy Towarzystwie Naukowem Pracownia Radiologiczna, której pracami kierowali zrazu J. Danysz i L. Wertenstein, a po śmierci Danysza (1915) na polu walki we Francji — prof. L. Wertenstein. Do najważniejszych prac, ogłoszonych przez Pracownię Radiologiczną, należały badania nad ładunkiem pro-



MARJA CURIE-SKŁODOWSKA





PIOTR CURIE

mieni β, nad fluktuacjami promieni α, nad odskokiem promieni β, nad ciepłem, związanem z promieniami β [1]).

Olbrzymia doniosłość odkryć i prac p. Skłodowskiej-Curie została uznana przez świat cały. Dawano temu niejednokrotnie wyraz w postaci nagród i zaszczytnych odznaczeń. Poprzestniemy na wymienieniu kilku: w roku 1903 otrzymali państwo Curie medal Davy'ego od Królewskiego Tow. Nauk w Londynie i w tym samym roku, wspólnie z H. Becquerel'em, nagrodę Nobla. W roku 1911 sama pani Curie otrzymała za swe badania nagrodę Nobla. W roku 1921 odbyła p. Curie podróż do Ameryki, gdzie prezydent Harding ofiarował jej w hołdzie 1 gram radu, który wielka uczona przekazała Instytutowi Radowemu w Paryżu. W roku 1929, w czasie ponownej bytności w Stanach Zjednoczonych, otrzymała p. Curie również 1 gram radu, który przeznaczyła na potrzeby wznoszonego w Warszawie Instytutu Radowego.

Z dzieł p. Curie najbardziej znanem jest „Traité de Radioactivité" (r. 1910), wyczerpujący traktat w dwu tomach, zawierający przeszło 1000 stronic tekstu.

MARJA ZE SKŁODOWSKICH CURIE.

## Przedmowa do dzieł Piotra Curie [2]).

Piotr Curie, syn doktora Curie, urodził się w Paryżu 15-go maja 1859 roku; wychowywał się wraz z bratem swym Jakóbem (Jacques), który przez długi okres czasu był jego towarzyszem pracy, a zawsze pozostał najlepszym brata swego przyjacielem.

Piotr nie uczęszczał do liceum, pobierał natomiast lekcje prywatne, a po zdaniu „baccalaureatu" [3]) studjował na uniwersytecie paryskim, gdzie z łatwością w 18-ym roku życia uzyskał licencjat.

Poziom tego egzaminu był zresztą naówczas względnie dość niski, i tylko osobistemu wysiłkowi Piotr zawdzięczał swą ogromną erudycję oraz zdolności eksperymentatorskie, jakie wykazał w następstwie. Już w pierwszej swej młodości okazał zainteresowanie do nauk doświadczalnych, głównie pod wpływem ojca swego, który miał ogrom-

---

[1]) Czytelnik, któryby się interesował temi pracami, znajdzie dużo danych w t. XXII-gim Handbuch der Physik, w rozdziałach, poświęconych promieniotwórczości.

[2]) Przedruk z tłumaczenia J. Fatersona we „Wszechświecie" (rok 1908, str. 545); ze względu na warunki miejsca musieliśmy streścić część życiorysu.

[3]) Baccalauréat odpowiada naszej maturze (świadectwu dojrzałości). *(Tł.)*.

ne zamiłowanie do nauk przyrodniczych i często przedsiębrał doświadczenia w tej dziedzinie. W 15-tym roku życia Piotr był już dostatecznie obyty z życiem laboratoryjnem, gdyż, przychodząc często do Szkoły Farmacji, gdzie brat jego był preparatorem, pomagał mu w przygotowaniach do wykładów fizyki i chemji. Praca laboratoryjna nie była mu więc obcą, gdy po uzyskaniu licencjatu został mianowany preparatorem Desainsa, profesora Sorbony. W tym samym czasie rozpoczyna się jego działalność naukowa.

W pięć lat później wstąpił jako kierownik laboratorjum fizycznego do świeżo naonczas założonej Szkoły Fizyki i Chemji Przemysłowej, a na stanowisku tem wytrwał przez lat dwanaście. Dopiero w r. 1895, gdy badania jego oddawna były już znane i cenione, został profesorem w tej szkole, gdzie założono dla niego nową katedrę. W tym również czasie ożenił się po uzyskaniu stopnia doktora; otrzymałam pozwolenie pracowania z nim razem w szkole. Od roku 1900-go był docentem na uniwersytecie paryskim (nauczanie P. C. N.) [1]), a w cztery lata później, po uzyskaniu nagrody Nobla za wykrycie radu, założono dla niego specjalną katedrę. Jednocześnie Curie pożegnał z żalem szkołę fizyki, w której mu upłynęło przeszło dwadzieścia lat pracy nieprzerwanej. W r. 1905-tym został mianowany członkiem instytutu. 19-go kwietnia 1906 r., gdy liczył zaledwie lat 47, tragiczny wypadek położył kres życiu jego [2]).

*

* *

Środki do pracy, jakiemi Curie rozporządzał, były zawsze bardzo ograniczone, i w istocie rzec można, że nigdy nie miał on przyzwoitego laboratorjum do zupełnego swego użytku. Na stanowisku dyrektora pracowni fizycznej w Szkole Fizyki mógł posiłkować się, o ile to było możliwe, pracownią szkolną. Nieraz wyrażał swoją wdzięczność za swobodę, jaką pozostawiono mu pod tym względem, lecz w laboratorjum tem nie posiadał wcale sali do wyłącznego swojego użytku; miejsce, które najczęściej służyło mu za schronienie, było to wąskie przejście między schodami a salą robót praktycznych,—

---

[1]) P. C. N. skrócone physique, chimie, sciences naturelles (zoologja i botanika). Nauczanie to, obowiązkowe dla studentów medycyny, trwa tylko rok jeden. Aczkolwiek stanowi zamkniętą w sobie całość, ma na celu gruntowne przygotowanie do studjów medycznych. *(Tł.)*.

[2]) Piotr Curie został zabity przez wóz ciężarowy, pod który dostał się, przechodząc przez ulicę. *(Z.)*.

tam to właśnie wykończył dużą swoją pracę o magnetyzmie. Później dopiero uzyskał pozwolenie obrócenia na swój użytek oszklonej pracowni, na parterze Szkoły położonej, która do owego czasu służyła za magazyn oraz salę maszyn; w pracowni tej rozpoczęliśmy wspólne nasze poszukiwania nad promieniotwórczością. Nie można było naturalnie myśleć o wykonaniu zamierzonych doświadczeń chemicznych bez uszkodzenia aparatów; doświadczenia te urządziliśmy w opuszczonym budynku, nawprost pracowni położonym, w którym niegdyś znalazły schronienie instalacje tymczasowe Szkoły Medycznej.

W szopie tej, w której latem niemiłosiernie piekło słońce, a zimą słabo ogrzewał piecyk żelazny, — bez podłogi, o oszklonym dachu, niedostatecznie chroniącym nas przed niepogodą, — spędziliśmy najszczęśliwsze lata naszego istnienia, poświęcając się całkowicie pracy bez wytchnienia. Nie bacząc na to, że byliśmy pozbawieni tych wszystkich udogodnień, które w wysokm stopniu ułatwiają pracę chemika, wykonaliśmy tam mnóstwo doświadczeń nad wciąż wzrastającemi ilościami materji. O ile doświadczeń tych nie można było wykonać na zewnątrz, musieliśmy wchłaniać szkodliwe pary, które powoli uchodziły przez otwarte okna. Cały inwentarz składał się ze starych zużytych stołów jodłowych, na których rozkładałam cenne odłamki koncentracji radu. Nie posiadając żadnego sprzętu, w którym moglibyśmy umieścić otrzymane preparaty promieniotwórcze, rozkładaliśmy je na stołach i półkach. Przypominam sobie dokładnie zachwyt, jakiego nieraz doznawaliśmy, gdy wypadło nam czasem wejść w nocy do naszej pracowni, na widok słabo lśniących sylwetek owoców naszej pracy, jakie ze wszech stron ku nam spoglądały.

Po zamianowaniu profesorem na uniwersytecie paryskim C u r i e uzyskał nie bez trudności małe laboratorjum tymczasowe, składające się z kilku pokojów — na wydziale P. C. N. Nie mógł zresztą odrazu z niego korzystać, gdyż sumienne opracowanie wykładów pochłaniało mu dużo czasu; zaczął pracować w nowej swej pracowni regularnie dopiero po zakończeniu swego kursu pierwszego półrocza, 1905 — 1906, — to znaczy w ciągu ostatniego miesiąca życia.

Środki materjalne, jakiemi C u r i e rozporządzał dla prac swoich, były w ciągu prawie całej jego karjery naukowej również bardzo ograniczone. Dopiero po zamianowaniu go profesorem Sorbony uzyskał kredyt dostateczny na założenie laboratorjum. Kosztowne nasze poszukiwania, które miały na celu wykrycie radu, były prowadzone dzięki darom prywatnym oraz subwencji Instytutu.

A jednak człowiek ten, całkowicie pozbawiony wymagań osobistych,

tak obojętny na warunki materjalne istnienia, pragnął posiadać laboratorjum dobrze urządzone, spokojne schronienie, wygodnie przystosowane do jego pracowitego trybu życia. Było to jednem z jego marzeń, które nigdy nie miały się urzeczywistnić, troską żywota, do której ciągle powracał. Wiadomo, że nie chciał przyjąć zaofiarowanej mu Legji Honorowej; w czasie, gdy uczyniono mu tę propozycję, uważał za potrzebne zwrócić uwagę na przedmiot swoich pragnień, — pisał mianowicie w liście, w którym uchyla się od zaofiarowanego mu odznaczenia: „Nie pragnę wcale być dekorowanym, odczuwam natomiast wielką potrzebę laboratorjum". Niestety, łatwiej było ofiarować mu to, dla czego był zupełnie obojętnym, aniżeli to, co mogłoby go uczynić szczęśliwym.

Curie należał do ludzi, którzy z dzieła swego uczynili główny cel swojej działalności oraz wszechogarniającą troskę żywota. Rozmiłowany w poszukiwaniach naukowych już wówczas, gdy był jeszcze dzieckiem prawie, poświęcił im trwały wysiłek oraz nieustanną pracę swego żywota, wyrzekając się wszelkiej rozrywki, wszelkich stosunków światowych, niezbędnych nawet wywczasów wakacyjnych. Tak więc życie jego było zawsze w zgodzie z jego ideałem młodości, i zgodnie z myślą młodzieńca 20-letniego, na papier w owej epoce rzuconą, udało mu się „uczynić z życia marzenie, a marzenie obrócić w rzeczywistość".

Poważny i milczący, obracał się chętnie w świecie swoich myśli i nie znosił zgiełku zewnętrznego. Poza pracą swoją lubił przedewszystkiem wycieczki wiejskie; niezmiernie wrażliwy na piękno przyrody, znał doskonale wszystkie jej objawienia. Z usposobienia wysoce uczciwy, dbał o to, by zachować lojalność względem siebie i innych, a we wszelkich okolicznościach życia starał się zachować zgodność między czynem a słowem. Był z natury bardzo dyskretny i lubił to w innych, — jego życie wewnętrzne było dostępne tylko dla tych, których kochał; lecz dobroć jego i słodycz charakteru zapewniały mu sympatję każdego, kto miał sposobność zbliżyć się do niego.

Twórczość naukowa stała się dla Curie'go potrzebą, a pojęcie, jakie sobie o twórczości tej wyrobił, było szczególnie czyste i wzniosłe. Napróżnobyś tam szukał jakiejś obcej przymieszki, jakichś względów na karjerę, na powodzenie, na zaszczyty nawet i sławę. Górowała w nim potrzeba rozmyślania nad zagadnieniami, jakie się nasuwały jego umysłowi; nieustannie szukał ich rozwiązania, nie szczędząc czasu, ni pracy, wydobywał je z otchłani niewiadomości i coraz bardziej udoskonalał, — aż wreszcie docierał do jakiegoś całokształtu

wyników pewnych, stanowiących istotny krok naprzód w poznaniu obchodzącego go problemu. Jakkolwiek umysł jego był ustawicznie pochłonięty ideami naukowemi, mającemi doniosłość ogólną, umiał wnosić w wykonanie każdej pracy ogromną sumienność i skrupulatność: nie było szczegółu praktycznego, któregoby nie uważał za godny wysiłku, a przecież nigdy nie miał na widoku olśnienia rezultatem zdobytym, nigdy nie myślał o wrażeniu, jakie wywrze jego praca.

Nie troszcząc się bynajmniej o wyciąganie korzyści materjalnych ze swych badań lub o zadowolenie miłości własnej, uważał każdą rozprawę ogłoszoną za logiczne uświęcenie otrzymanego wyniku, za spis — że tak powiem — całokształtu faktów lub myśli jasno pojętych i związanych ze sobą węzłem logicznym. Nigdy nie dał się porwać chęci ogłaszania spostrzeżeń pośpiesznych, na dobie będących, gdyż mówił i myślał szczerze, że jakość pracy znaczy więcej, niż imię autora. Gdy rozmawiano z nim o kwestjach tego rodzaju, odpowiadał spokojnie: „cóż to szkodzi, że nie ogłosiłem tej lub innej pracy, skoro już inny tego dokonał". Wielu doświadczeń, o których Curie nie wyrobił sobie zdania zadawalającego, nie opisał zupełnie, i zdarzało mu się często, że przez długi czas pracował nad jakąś kwestją, w której już doszedł był do pewnych wyników, a nic nie ogłosił w tej mierze.

To też w rozległej sferze zagadnień, jakie go interesowały, lubił wybierać te przedewszystkiem, które jeszcze nie ściągnęły na siebie uwagi licznych badaczów, a któremi mógł się zajmować w spokoju i bez pośpiechu. Po odkryciu radu, gdy do badania promieniotwórczości przystąpiło wielu uczonych, Curie z trudnością dostrajał się do produkcji gorączkowej i szybkości, z jaką następowały po sobie komunikaty w tej dziedzinie. I często doznawał pokusy zaniechania na pewien czas przedmiotu, w którym jednak tyle dokonał, by cofnąć się do innych dziedzin wiedzy, spokojniejszych i bardziej odpowiednich dla refleksyjnego jego umysłu. Pragnął przedewszystkiem powrócić do swych badań nad symetrją ośrodków krystalicznych.

. . . . . . . . . . . . . . . . . .

Pierwsza praca Piotra Curie ukazała się, gdy jej autor liczył zaledwie lat 21. Była ona wykonana wspólnie z prof. Desains; w tej pracy została opracowana nowa metoda mierzenia długości fal w podczerwieni. Następna praca, podjęta wespół z bratem Jakóbem, dotyczyła badań nad ciałami krystaliczemi. Doprowadziła ona do odkrycia piezoelektryczności, która polega na tem, iż pewne kryształy, poddane odkształceniom mechanicznym, wytwarzają swobodne ła-

dunki elektryczne. Pomimo wielkich trudności doświadczalnych, gdyż pomiary piezoelektryczności należą do najsubtelniejszych badań elektrostatycznych, bracia Curie zdołali ustalić prawa, którym podlegało nowe zjawisko. Kwarcem piezoelektrycznym posługiwali się później Państwo Curie w swych pracach w dziedzinie promieniotwórczości. Równocześnie zajmował się Piotr Curie badaniami teoretycznemi nad symetrją ośrodków krystalicznych; istnienie piezoelektryczności przewidzieli młodzi fizycy a priori, a dopiero później przystąpili do poszukiwań eksperymentalnych. Od roku 1892 do 1895 pracował Curie nad własnościami magnetycznemi ciał w różnych temperaturach. Badania dotyczyły 20 ciał i sięgały 1400° C, poczynając od temperatury pokojowej. Curie wykrył zasadnicze prawa zależności współczynnika namagnesowania od temperatury, zwane do dziś jego imieniem. Prawa te odgrywają ogromną rolę w teorji zjawisk magnetycznych. Rozprawa o magnetyzmie stanowiła pracę doktorską Piotra Curie.

Koło roku 1896 rozpoczął Curie pracę nad wzrostem i rozpuszczaniem się kryształów. Otrzymał już szereg ciekawych wyników, kiedy, zainteresowawszy się nową dziedziną badań, której oddała się pani Curie, porzucił badania nad kryształami dla wyjaśnienia zagadkowego promieniowania rud uranowych. Wspólna praca Państwa Curie została uwieńczona powodzeniem: w roku 1898 zostały odkryte nowe pierwiastki, — polon i rad. Po wielkich odkryciach nastąpił szereg prac szczegółowych, posiadających jednak wielką doniosłość naukową: Curie zajmował się wyznaczaniem ciepła, wytwarzanego przez rad, wykrył osad promieniotwórczy (promieniotwórczość indukowaną) i zbadał ewolucję tego osadu, wyznaczył stałą rozpadu emanacji, prowadził badania nad promieniotwórczością wód mineralnych i wiele innych poszukiwań. Był również Piotr Curie zręcznym konstruktorem: jego waga aperjodyczna i jego elektrometr należą do przyrządów nader chętnie używanych przez fizyków.

Ostatnie lata życia swego Curie poświęcił badaniom nad promieniotwórczością oraz pracom teoretycznym z fizyki ogólnej — niezmiernej doniosłości. Były one obfite w wyniki. Jego władze umysłowe, również jak i zdolności eksperymentatorskie, były w pełni rozwoju. Wierzył, że — jeszcze lat kilka — a uda mu się wreszcie stworzyć laboratorjum, którego tak pragnął, a w którem będzie mógł zgrupować dokoła siebie współpracowników zdolnych, przejętych takim jak on zapałem do pracy. Zaiste, umiał wywierać wpływ głęboki, nie tylko dzięki potędze swojego umysłu, lecz także przez swą wysoką moralność; cała jego istota tchnęła jakimś czarem niewysłowionym, któremu trudno było się oprzeć. Otwierała się przed nim nowa era życia; wobec potężniejszych środków działalności, miała ona być naturalnem przedłużeniem godnej podziwu karjery naukowej. Los zrządził inaczej, i dusza wzdryga się na samą myśl konieczności uchylenia czoła przez jego niepojętym wyrokiem.

**Badanie ciał radjoaktywnych, przez Marję Skłodowską - Curie [1]).**

Część historyczna.

Odkrycie zjawisk radjoaktywności jest związane z poszukiwaniami, prowadzonemi od czasu odkrycia promieni Röntgen'a, a dotyczącemi działań fotograficznych ciał fosforyzujących i fluoryzujących. Pierwsze rurki wytwarzające promienie röntgenowskie nie posiadały antykatody metalicznej. Źródło promieni Röntgen'a znajdowało się w ścianie szklanej, uderzanej przez promienie katodalne. Ścianka ta jednocześnie fluoryzowała bardzo silnie. Można więc było przypuszczać, że emisja promieni röntgenowskich nieodłącznie towarzyszy fluorescencji, powstającej pod jakimbądź wpływem. Myśl tę powziął pierwszy p. Henryk Poincaré [2]).

Wkrótce potem p. Henry doniósł, że otrzymał obrazy fotograficzne pod działaniem siarczka cynku fosforyzującego przez papier czarny [3]). P. Niewęgłowski wywołał to samo zjawisko siarczkiem wapnia, który poprzednio był wystawiony na działanie światła [4]). Nakoniec p. Troost otrzymał silne obrazy fotograficzne, działając sztucznie otrzymaną blendą heksagonalną fosforyzującą poprzez papier czarny i grubą tekturę [5]).

Przytoczone powyżej doświadczenia nie mogły być powtórzone, pomimo wielu w tym kierunku usiłowań. Niepodobna więc żadną miarą uznać za rzecz dowiedzioną, że siarczek cynku i siarczek wapnia pod wpływem światła wysyłają promienie niewidzialne, które mogę przechodzić przez papier czarny i działać na płytę fotograficzną.

P. Becquerel wykonywał doświadczenia podobne z solami uranu, z których pewna część okazywała fluorescencję [6]). Otrzymał on obrazy fotograficzne przez papier czarny, używając siarczanu uranylowo - potasowego. P. Becquerel sądził zrazu, że ta sól, która posiada fluorescencję, zachowuje się tak, jak siarczek cynku i siarczek wapnia w doświadczeniach panów Henry'ego, Niewęgłowskiego i Troosta. Ale dalszy bieg doświadczeń przekonał go, że zjawisko uważane nie ma żadnego związku z fluo-

[1]) Podajemy poniżej wyjątki z rozprawy, ogłoszonej po polsku w Warszawie w r. 1894. (Odbitka z „Chemika Polskiego").

[2]) Revue générale des sciences, 30 stycznia 1896.

[3]) Comptes rendus, CXXII, 312.

[4]) Comptes rendus, CXXII, 386.

[5]) Comptes rendus, CXXII, 564.

[6]) Becquerel, Comptes rendus z r. 1896 (kilka komunikatów).

rescencją. Niema konieczności, żeby sól była naświetlona, a, co więcej, uran i wszystkie jego połączenia działają w jednakowy sposób, a uran metaliczny jest najbardziej czynny. P. Becquerel spostrzegł następnie, że związki uranowe, pomimo przechowywania ich w całkowitej ciemności, zachowują własność działania na płyty fotograficzne przez papier czarny w ciągu lat całych. P. Becquerel przyjął, że uran i jego związki wysyłają szczególniejsze promienie: promienie uranowe. Dowiódł, że promienie te mogą przechodzić przez cienkie zasłony metalowe i że wyładowują ciała naelektryzowane. Poczynił też doświadczenia, z których wywnioskował, że promienie uranowe ulegają załamaniu, odbiciu i polaryzacji.

Badania innych fizyków (Elstera i Geitla, lorda Kelvina, Schmidt'a, Rutherforda, Beatti'ego i Smoluchowskiego) potwierdziły i rozszerzyły wyniki poszukiwań p. Becquerel'a za wyjątkiem odbicia, załamania i polaryzacji promieni uranowych, które zachowują się w tym względzie jak promienie röntgenowskie, co przedewszystkiem zostało wykazane przez p. Rutherford'a, a następnie i przez samego p. Becquerel'a.

## ROZDZIAŁ I.

### Promieniotwórczość uranu i toru. Minerały promieniotwórcze.

Promienie Becquerel'a. Promienie uranowe, odkryte przez p. Becquerel'a, działają na płytę fotograficzną bez dostępu światła; mogą przenikać przez wszelkie ciała stałe, ciekłe i gazowe, o ile warstwa jest odpowiednio cienka; przechodząc przez gazy, nadają im własność przewodzenia elektryczności w stopniu słabym [1].

Własności powyższe związków uranowych nie są zależne od żadnego bodźca znanego. Promieniowanie zdaje się być samoistnem; natężenie jego nie zmniejsza się bynajmniej, jeżeli związki uranu są przez całe lata przechowywane w zupełnej ciemności; zjawisko nie jest więc wcale jakąś fosforoscencją szczególną, wzbudzoną przez światło.

Samoistność i trwałość promieniowania uranowego stanowią zjawisko fizyczne nader osobliwe. P. Becquerel przechowywał w ciemności kawałek uranu przez lat kilka i przekonał się, że po upływie tego czasu działanie na płytkę fotograficzną nie zmieniło

---

[1]) Becquerel, Comptes rendus, 1896 (kilka komunikatów).

się w sposób, dający się dostrzec. Pp. Elster i Geitel wykonali doświadczenie podobne i przekonali się również, że działanie jest stałe [1]).

Natężenie promieniowania uranu mierzyłam, korzystając z działania tego promieniowania na przewodnictwo elektryczne powietrza. Otrzymałam w taki sposób liczby, które stwierdzają stałość promieniowania w granicach dokładności doświadczeń, to jest, aż do 2 lub 3 mniej więcej odsetek [2]).

Do pomiarów tych była używana płytka metaliczna, pokryta warstwą uranu sproszkowanego; płytki tej nie przechowywano w ciemności, gdyż warunek ten, według spostrzegaczy wyżej przytoczonych, nie ma znaczenia. Liczba pomiarów, wykonanych z tą płytką, jest bardzo wielka, i obecnie odnoszą się one do okresu czasu wynoszącego już pięć lat.

Były czynione poszukiwania, mające na celu dowiedzieć się, czy i inne ciała mogą działać tak, jak związki uranowe. P. Schmidt pierwszy ogłosił, że tę własność posiada również tor i jego związki [3]). Przeprowadzone jednocześnie odpowiednie badania i mnie także dały wynik takiż sam. Ogłosiłam to spostrzeżenie, nie znając jeszcze komunikatu p. Schmidt'a [4]).

Mówimy, że uran, tor i ich związki wysyłają promienie Becquerel'a. Ciała, które są źródłem emisji tego rodzaju, nazwałam radjoakty wnemi [5]) (promieniotwórczemi), i nazwa ta odtąd zosta ła przyjęta ogólnie.

Promienie Becquerel'a przez swoje działanie fotograficzne i elektryczne zbliżają się do promieni Röntgen'a. Mają też, na równi z temi ostatniemi, zdolność przenikania wszelkch substancyj. Różnią się jednak bardzo pod względem siły przenikania: promienie uranowe i torowe zostają powstrzymane po przebyciu drogi, wynoszącej klka milimetrów w materji stałej, a w powietrzu przebyć nie mogą odległości większej nad kilka centymetrów; tak jest przynajmniej dla znaczniejszej części promieniowania.

Badania różnych fizyków, a przed innymi p. Rutherford'a,

---

[1]) Becquerel, Comptes rendus, t. CXXVIII, str. 771. — Elster i Geitel, Beibl. t. XXI, str. 455.

[2]) M. Curie, Rev. gén. des. Sc., styczeń 1899.

[3]) Schmidt, Wied. Ann. t. LXV, str. 141.

[4]) M. Curie, Comptes rendus, kwiecień 1898.

[5]) P. Curie i M. Curie, Comptes rendus, 18 lipca 1898.

dowiodły, że promienie B e c q u e r e l'a nie ulegają ani prawidłom odbicia, ani załamaniu, ani polaryzacji [1]).

Słaba zdolność przenikania promieni uranu i toru zbliżałaby je raczej do promieni wtórnych, które są wytwarzane przez promienie R ö n t g e n'a, a których badaniem zajął się p. S a g n a c [2]), aniżeli do samych promieni R ö n t g e n'a.

Z drugiej strony możnaby poszukiwać zbliżenia pomiędzy promieniami becquerelowskiemi, a promieniami katodalnemi rozchodzącemi się w powietrzu (promienie Lenarda). Wiadomo nam dzisiaj, że różne te zbliżenia są wszystkie uprawnione.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

M i n e r a ł y r a d j o a k t y w n e. Zbadałam w swoim przyrządzie znaczną liczbę minerałów [3]); niektóre z pomiędzy nich wykazały aktywność, szczególnie blenda smolista, chalkolit, autunit, monacyt, toryt, oranżyt, fergusonit, kleweit i t. d. W tabliczce poniższej *i* przedstawia wyrażone w amperach natężenie prądu, otrzymane z uranem i z różnemi minerałami:

| | $i \times 10^{11}$ |
|---|---|
| Uran | 2,3 |
| Blenda smolista z Johanngeorgenstadu | 8,3 |
| „ „ z Jachimowa (Joachimsthalu) | 7,0 |
| „ „ z Pribramu | 6,5 |
| „ „ z Kornwalii | 1,6 |
| Kleweit | 1,4 |
| Chalkolit | 5,2 |
| Autunit | 2,7 |
| Toryty różne | 0,1<br>0,3<br>0,7<br>1,3<br>1,4 |
| Oranżyt | 2,0 |
| Monacyt | 0,5 |
| Ksenotym | 0,03 |
| Eschinit | 0,7 |
| Fergusonit, 2 razy | 0,4<br>0,1 |
| Samarskit | 1,1 |

[1]) Rutherford, Phil. Mag., styczeń 1899.

[2]) Sagnac, Comptes Rendus, 1897, 1898, 1899 (kilka komunikatów).

[3]) Okazy minerałów ze zbioru Muzeum były mi łaskawie użyczone przez p. L a c r o i x.

| | |
|---|---|
| Niobit, 2 okazy | 0,1<br>0,3 |
| Tantalit | 0,02 |
| Karnotyt [1]) | 6,2 |

Prąd, wytwarzający się za użyciem oranżytu (minerał, zawierający tlenek toru), zmieniał się bardzo w zależności od grubości warstwy minerału. Zmieniając tę grubość od 0,25 *mm* do 6 *mm*: otrzymano prąd od 1,8 do 2,3.

Wszystkie minerały, które się okazały promieniotwórczemi, zawierają tor lub uran; aktywność ich była oczekiwana, lecz natężenie zjawiska dla niektórych minerałów wydało się nam zdumiewającem. Tak, znaleziono blendy smoliste (minerały zawierające tlenek uranu) cztery razy bardziej aktywne od uranu metalicznego. Chalkolit (fosforan miedziowo - uranowy krystaliczny) jest dwa razy bardziej aktywny od uranu metalicznego. Autunit (fosforan uranowo - wapniowy) jest równie aktywny, jak uran. Fakty te nie zgadzają się z uwagami poprzedniemi, według których żaden minerał nie powinien był się okazać bardziej aktywnym od uranu i toru.

Ażeby ten punkt wyjaśnić, przygotowałam chalkolit sztuczny według sposobu D e b r a y'a, wychodząc z materjałów pierwotnych czystych. Metoda polega na zmieszaniu roztworu azotanu uranylowego z roztworem fosforanu miedzi w kwasie fosforowym i ogrzaniu mieszaniny do 50 lub 60°. Po upływie pewnego czasu w cieczy tworzą się kryształy chalkolitu [2]). W taki sposób wytworzony chalkolit posiada aktywność zupełnie normalną, jeżeli uwzględnimy skład jego: jest on półtrzecia raza mniej aktywny od uranu.

Od tej chwili stało się rzeczą bardzo prawdopodobną, że tak wysoka aktywność blendy smolistej, chalkolitu, autunitu zależy od zawartości w tych ciałach małej ilości substancji bardzo silnie promieniotwórczej, odmiennej od uranu, toru i wogóle od pierwiastków poprzednio znanych. Wydało mi się, że, o ile tak jest w istocie, mogę mieć nadzieję wydobycia z minerału tego ciała zapomocą postępowania zwyczajnego analizy chemicznej.

. . . . . . . . . . . . . . . . . . .

---

[1]) Karnotyt jest to naturalny wanadan uranu, odkryty niedawno przez pp. Friedla i Cumengea.

[2]) Debray, Ann. de Chim. et de Phys., serja 3, tom LXI, str. 445.

DZIAŁ II

# PROMIENIOWANIE I MECHANIKA ATOMU

SERJE WIDMOWE. — BOHRA MODEL ATOMU. — BRAKI MODELU BOHRA. — NOWE KIERUNKI W MECHANICE ATOMU.

## Rozdział X.

## STRUKTURA WIDM.

OKREŚLONĄ strukturę posiadają tylko widma nieciągłe. Ich charakter wskazuje pośrednio na nieciągłość procesów energetycznych, których siedliskiem jest atom. Aż do r. 1913 daremnie usiłowano stworzyć teorję zjawisk spektralnych. Spektroskopja ówczesna przypominała biologję z epoki, poprzedzającej ukazanie się wielkich teoryj ewolucyjnych XIX wieku: była olbrzymim zbiorem materjałów surowych, faktów niczem ze sobą nie związanych. Doskonale odzwierciadla ten stan rzeczy dzieło H. Kaysera „Handbuch der Spektroskopie", wydane w sześciu wielkich tomach pomiędzy rokiem 1900 a 1912; na kilku tysiącach stron mamy tam zbiór faktów, cyfr, opisów metod, krytykę hipotez przeróżnych, — żadnej natomiast myśli, spajającej części oddzielne w jednolitą, łączną całość.

Ten stan rzeczy uległ radykalnej zmianie w r. 1913, gdy Niels Bohr ogłosił swe podstawowe rozprawy, dotyczące teorji powstawania widm linjowych. Odtąd datuje się nowa era w spektroskopji; prace w tej dziedzinie przestają być suchą rejestracją danych doświadczenia, wiążą się natomiast ściśle z ogólnemi problematami fizyki atomu; widma rzucają światło na przebieg procesów wewnątrzatomowych [1]).

Odróżniamy dwa główne typy widm nieciągłych: 1) widma pasmowe, 2) widma linjowe właściwe. Widma pasmowe są widmami linjo-

[1]) W Polsce największe i najważniejsze laboratorjum, poświęcone zagadnieniom spektroskopji, stworzył Prof. S. Pieńkowski w Instytucie Fizycznym Uniwersytetu Warszawskiego. Liczne publikacje Instytutu można znaleźć tak w „Sprawozdaniach Pol. Tow. Fizycznego", jak i w innych wydawnictwach naukowych krajowych i zagranicznych. Zagadnieniami spektralnemi zajmują się też instytuty fizyczne we Lwowie, Wilnie, Poznaniu. Nader doniosłe badania teoretyczne z zakresu spektroskopji, cieszące się rozgłosem światowym, ogłasza prof. W. Rubinowicz we Lwowie. Zastosowaniu nowych teoryj promieniowania w astrofizyce poświęcone są prace Prof. Cz. Białobrzeskiego (Warszawa).

wemi specjalnego typu o dużem zagęszczeniu linij. Niejednokrotnie linje skupiają się w sposób charakterystyczny w pewnych miejscach, zwanych głowicami (krawędziami) pasm; skupienia mogą być tak gęste, że nawet przy użyciu dużej dyspersji linje nie dają się oddzielić od siebie. Widzimy to na rys. 201, gdzie krawędzi zostały zaznaczone cyframi, wskazującemi długości fal. Charakterystyczny jest wygląd krawędzi, które tylko po jednej stronie są jakby silnie zacienione. Z całokształtu badań spektralnych wynika, że widma pasmowe są wysyłane nie przez atomy, lecz przez molekuły. Autor niniejszego stwierdził to doświadczeniem bezpośredniem (Philos. Magazine, wrzesień 1922). Poddając parę jodu, składającą się wyłącznie z molekuł

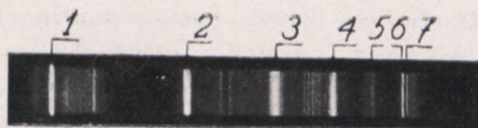


Rys. 201.
Pasma w widmie łuku węglowego. Linje nierozdzielone tworzą ciemne smugi. (Zdjęcie H. Konena, dokonane zapomocą dużej siatki dyfrakcyjnej).

$J_2$, szybkozmiennym wyładowaniom elektrycznym, otrzymywał widmo pasmowe. Przy ogrzewaniu pary jodu, zawartej w rurce kwarcowej widmo pasmowe zanikało wraz ze zwiększeniem się stopnia dyssocjacji pary; przy zupełnej dyssocjacji, gdy świecąca część rurki zawierała tylko atomy jodu J, otrzymywano widmo linjowe.

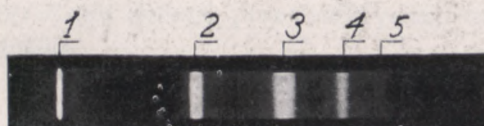
W badaniach nad mechaniką atomów punktem wyjścia jest istnienie *seryj spektralnych*, ujawniających zadziwiającą regularność struktury widm. Tej sprawie poświęcimy rozdział niniejszy. Naogół spostrzeżenia powierzchowne nie ukazują żadnych prawidłowości w rozmieszczeniu linij spektralnych. Gdy widmo, co się zdarza często, składa się z nader licznych linij, obserwator ma wrażenie zupełnego chaosu.

Wyjątek stanowi widmo wodoru, pierwszego pierwiastka w tablicy układu perjodycznego; wiąże się to z prostotą struktury atomu wodoru. Wodór daje właściwie dwa widma; jedno z nich, zwane wielolinjowem, jest wysyłane przez drobinę wodoru — $H_2$. Drugie nazwano czterolinjowem, gdyż składa się ono w części widma widzialnej




Rys. 202.

Na rysunku tym widzimy fotografję widma wodoru (rurka Geisslerowska), otrzymaną zapomocą spektrografu o szklanych częściach optycznych. Linje, należące do serji B a l m e r a, zostały ponumerowane. Na fotografji mamy siedem linij wodoru jednoatomowego. Pozostałe prążki należą do wodoru molekularnego — $H_2$.




Rys. 203.

Na rysunku mamy bardzo wyraźnie zdjęte widmo czterolinjowe wodoru (rurka Geisslerowska). Użyto przy tem zdjęciu silniejszych wyładowań elektrycznych, niż przy zdjęciu, podanem na rys. 202. Linje wodoru molekularnego znikły niemal zupełnie.



Rys. 204.

Linje serji Balmerowskiej występują tu jako prążki absorbcji na tle widma ciągłego. Fotografja daje widmo gwiazdy ζ Tauri, zdjęte zapomocą reflektora $37^1/_2$ calowego. Pierwszy prążek po stronie prawej jest linją $H\gamma$ (4340 Å). Po lewej stronie figury prążki zagęszczają się w okolicy linji granicznej. Na naszej reprodukcji z łatwością można naliczyć około 20-tu prążków; na zdjęciu oryginalnem dostrzega się 31 prążków.

z czterech [1]) linij. Gdy się poddaje działaniu wyładowań cewki Ruhmkorffa wodór, zawarty w zwykłej kupnej rurce Geisslerowskiej, występują naogół obydwa widma. Jeżeli się włączy w obwód cewki równolegle do rurki butelkę Lejdejską, a oprócz tego da się w obwodzie rurki iskiernik, przez rurkę przejdą wyładowania silnie skondensowane, i na plan pierwszy wysunie się widmo czterolinjowe, które wytwarza wodór jednoatomowy H, powstający na skutek dyssocjacji drobin. Na tablicy IX-tej pokazane jest widmo wodoru; zdjęcia sięgają początku ultrafioletu. Czytelnik z łatwością dostrzeże (rys. 202), że cztery prążki w widzialnej części stanowią początek regularnego ciągu linij, które w ultrafiolecie zagęszczaczają się niejako. Lepiej jeszcze uwydatnia się to na rys. 204, tablicy IX, gdzie te same linje występują jako prążki absorbcyjne na tle widma ciągłego.

Regularność rozmieszczenia prążków nasuwa myśl, że powinnyby się one dać ująć w prosty wzór matematyczny. Wzór taki został wykryty w roku 1885 przez J. J. B a l m e r a [2]). Zmieniając cokolwiek kształt wyrażenia danego przez odkrywcę, możemy je napisać w formie poniższej:

$$\nu' = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right); \; n = 3,\ 4,\ 5...$$

We wzorze tym $\nu'$ oznacza odwrotność długości fali, inaczej mówiąc — liczbę fal, które się mieszczą na 1 cm; $R$ jest wielkością stałą, która na cześć jednego z najbardziej zasłużonych spektroskopistów nosi nazwę stałej R y d b e r g a; $m$ może przybierać kolejne wartości liczb naturalnych, poczynając od 3; tym wartościom odpowiadają następujące po sobie linje widmowe. Jasnem jest, że

[1]) Czwarta linja, $\lambda = 4102\,\mathring{A}$, leży w dalekim fiolecie. Oko jest bardzo mało wrażliwe na tę część widma; częstokroć nie dostrzega się okiem tej linji.

[2]) B a l m e r, który był nauczycielem gimnazjum w Bazylei, podjął pracę nad widmem czterolinjowem wodoru na propozycję H a g e n b a c h a, profesora uniwersytetu w tem samem mieście. Szczęśliwy traf zrządził, że udało mu się wyrazić zapomocą prostych liczb całkowitych związek pomiędzy temi linjami; zapoznawszy się z pomiarami spektroskopistów angielskich w bliskim ultrafiolecie, stwierdził B a l m e r, że wzór jego posiada znaczenie ogólniejsze i obejmuje wszystkie linje wodoru znane podówczas. Dalsze postępy w dziedzinie rozpoznania seryj widmowych zawdzięczała nauka przedewszystkiem J. R y d b e r g o w i (1890) i W. R i t z o w i (1908), którzy, zachęceni przykładem B a l m e r a, szukali regularności w układzie linij innych pierwiastków. Serje widmowe były punktem wyjścia wszystkich współczesnych teoryj mechaniki atomu; bez przesady można powiedzieć, że przygodne odkrycie prowincjonalnego nauczyciela gimnazjalnego dało początek jednej z najżywotniejszych i najpotężniejszych gałęzi nauki.

odstępy pomiędzy kolejnemi linjami zmniejszać się będą przy $m$ rosnącem; *kres* ciągu otrzymujemy, gdy $m = \infty$. W rzeczywistości w obserwacji linij serji Balmerowskiej nie przekroczono wyrazu 35-go; tak daleko jednak dojść można tylko na zdjęciach spektralnych *ciał niebieskich*. W warunkach laboratoryjnych nie udało się przekroczyć 20-tej linji. Główna trudność polega na tem, że intensywność prążków nader szybko maleje ze wzrostem numeru porządkowego linij. Tak np. R. W. Wood podaje, że natężenie 6-tej linji wynosi tylko $^1/_{60}$ natężenia 1-szej linji serji, natężenie 14-ej $= \frac{1}{15000}$, wreszcie 20-ta posiada intensywność 900000 razy mniejszą, niż pierwsza.

Prócz serji Balmera wykryto w widmie wodoru jednoatomowego kilka innych analogicznych seryj. Czytelnik zechce rozpatrzyć dokładnie rys. 205 na str. 643, na którym widmo wodoru zostało zobrazowane nader poglądowo [1]. Po stronie lewej zostały podane długości fali $\lambda$ w jednostkach Ångströma; po stronie prawej mamy odwrotności $\lambda$, któreśmy we wzorze Balmera (ob. str. 641) oznaczyli $\nu'$. Widma zostały wykreślone w skali $\nu' = \frac{1}{\lambda}$; widać to z jednostajności podziałki po stronie prawej, gdy natomiast podziałka po lewej ręce przebiega nierównomiernie. Czytelnik zechce teraz obrócić tablicę o 90° — tak, by napisy szły od lewej ręki ku prawej. Mamy na figurze szereg poziomych pasm, w których zostały zaznaczone linje widmowe wodoru. Grubość kresek w przybliżeniu charakteryzuje natężenie linij. Nie trzeba wielkiej przenikliwości, by dostrzec, że w widmie wodoru możemy wyodrębnić kilka grup linji, nie zachodzących na siebie. Jedną z tych grup, 3-cie pasmo od góry, stanowi serja Balmera, o której była mowa wyżej. Idąc od góry na dół napotykamy kolejno serje następujące:

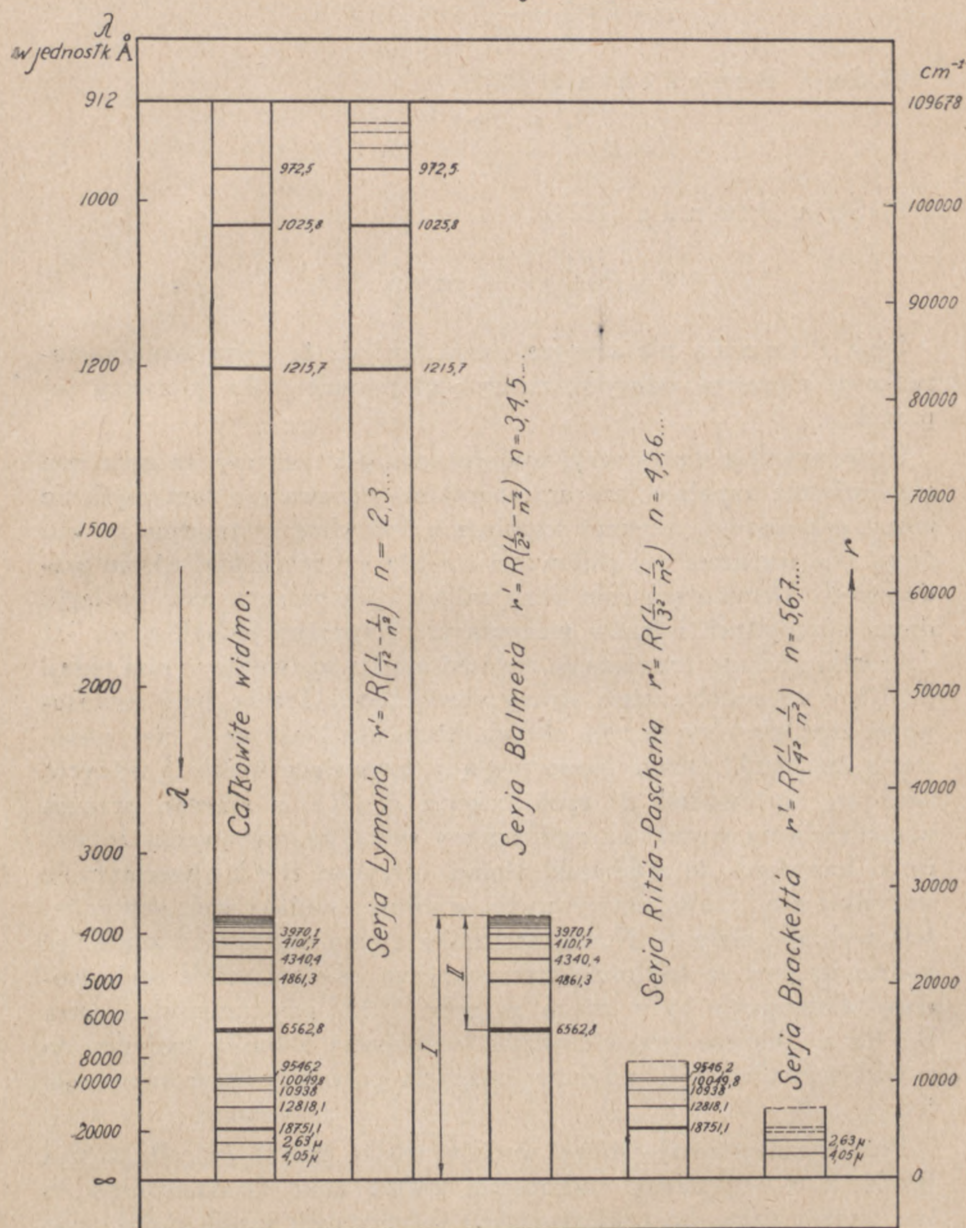
1) Serja Lymana (1906)

$$\nu' = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right);\ n = 2,\ 3,\ 4\ldots$$

2) Serja Balmera (1885)

$$\nu' = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right);\ n = 3,\ 4,\ 5\ldots$$

[1]) Tablicę wzięliśmy z dzieła: W. Grotrian, Graphische Darstellung der Spektren von Atomen und Ionen mit ein, zwei und drei Valenzelektronen. Berlin. Springer, 1928.


Widmo wodoru jednoatomowego.
λ w jednostk. Å
cm⁻¹
912
1000
1200
1500
2000
3000
4000
5000
6000
8000
10000
20000
∞
109678
100000
90000
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
972,5
1025,8
1215,7
3970,1
4101,7
4340,4
4861,3
6562,8
9546,2
10049,8
10938
12818,1
18751,1
2,63 μ
4,05 μ
Całkowite widmo.
Serja Lymana ν' = R(1/1² − 1/n²) n = 2, 3...
Serja Balmera ν' = R(1/2² − 1/n²) n = 3, 4, 5...
Serja Ritza-Paschena ν' = R(1/3² − 1/n²) n = 4, 5, 6...
Serja Bracketta ν' = R(1/4² − 1/n²) n = 5, 6, 7...
I
II
λ
ν

Rys. 205.

3) Serja Ritza-Paschena (1908)

$$\nu' = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right);\ n = 4,\ 5,\ 6...$$

4) Serja Brackett'a (1922)

$$\nu' = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right);\ n = 5,\ 6,\ 7...$$

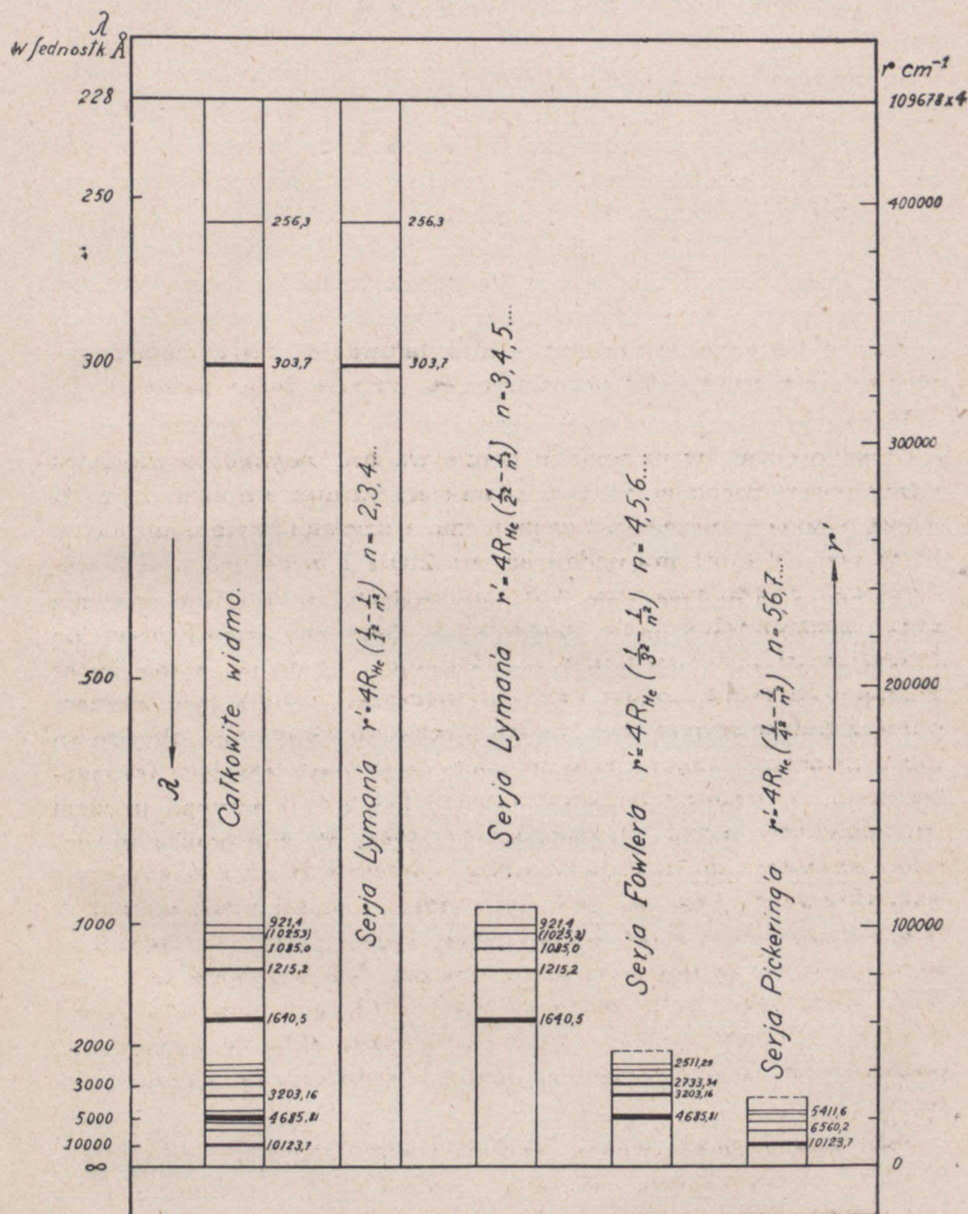
5) Serja Pfunda (1924)

$$\nu' = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right);\ n = 6,\ 7,\ 8...$$

Serji Pfunda nie zawiera nasza tablica; ta serja została stosunkowo niedawno odkryta; znany jest narazie tylko pierwszy jej prążek.

Porównywując wzory seryj wodorowych, dostrzegamy, że mają one algebraicznie zupełnie ten sam charakter; nasuwa się nam myśl, że muszą odpowiadać jakiemuś wspólnemu, wszechogarniającemu prawu, że są one wyrazem prawidłowości struktury i mechaniki atomu wodorowego. Dominująca rola liczb całkowitych narzuca nam analogję drgań sprężystych i tonów muzycznych. Napróżno jednak przez lat dziesiątki szukano rozwiązania zagadki atomu, upatrując w nim układ drgający na podobieństwo struny dźwięczącej. Trzeba było zastosowania zupełnie nowych idei, obcych mechanice klasycznej, dla opanowania mechaniki atomu. Nowe poglądy, zrywające śmiało z tradycją wiekową, wprowadził do spektroskopji Bohr, o którego pracach wspomnieliśmy wyżej. Tu nadmienimy tylko, że, wprowadzając warunki kwantowe do mechaniki atomu, otrzymał Bohr teoretycznie wszystkie wzory, któreśmy powyżej wypisali i zdołał z całą dokładnością wyliczyć stałą $R$. Nowa mechanika atomu potrafiła przewidzieć widmo wodoru ze ścisłością astronomiczną. Nie wszystkie serje wodoru atomowego były znane w roku 1913, gdy powstała teorja Bohra. Dopiero przewidywania teoretyczne skłoniły badaczy do poszukiwania nowych prążków; odkrycia potwierdziły w zupełności teorję.

Poza opanowaniem widma wodoru, wielki triumf święciła teorja Bohra w wyjaśnieniu całkowitem widma *helu zjonizowanego*, to jest widma atomu helu, który utracił jeden z dwu swych elektronów. Serje widmowe helu zjonizowanego znajdzie czytelnik na rys. 206. Rysunek został wykonany tak samo, jak i rysunek na str. 52, przed-


Widmo helu zjonizowanego. (He II)
λ w jednostk. Å
r cm⁻¹
228
250
300
500
1000
2000
3000
5000
10000
∞
109678x4
400000
300000
200000
100000
0
λ
r'
Całkowite widmo.
Serja Lymana r' = 4R_He (1/1² − 1/n²) n = 2,3,4...
Serja Lymana r' = 4R_He (1/2² − 1/n²) n = 3,4,5...
Serja Fowlera r' = 4R_He (1/3² − 1/n²) n = 4,5,6...
Serja Pickering'a r' = 4R_He (1/4² − 1/n²) n = 5,6,7...
256,3
303,7
921,4
(1025,3)
1085,0
1215,2
1640,5
3203,16
4685,81
10123,7
2511,25
2733,34
5411,6
6560,2

Rys. 206.

stawiający schematycznie widmo wodoru; dłuższe komentarze byłyby przeto zbyteczne. Zwracamy uwagę na to, że stałą $R$ wzorów seryjnych należy w widmie helu pomnożyć przez 4; wartość tej stałej jest cokolwiek większa, niż w przypadku wodoru. Dla podkreślenia tego szczegółu, który również został przepowiedziany przez teorję, piszemy na rys. 206 nie $R$, lecz $R_{He}$[1]).

Na helu zjonizowanym kończą się wielkie triumfy teorji B o h r a. Już charakter widma cząsteczki obojętnej helu nie da się przewidzieć a priori [2]). Dotyczy to tembardziej pierwiastków bardziej skomplikowanych. Nie należy jednak sądzić, że serje widmowe urywają się na helu. Przeciwnie, są one doskonale znane dla pierwiastków kilku pierwszych kolumn układu perjodycznego, a w ostatnich latach uczyniono też znaczne postępy w klasyfikowaniu linij skomplikowanych widm pierwiastków pozostałych.

Jednak wyodrębnienie seryj nasuwa w tych razach znacznie większe trudności, niż w przypadku helu i wodoru, gdyż linje widmowe różnych seryj zachodzą zazwyczaj na siebie, i ujęcie linij danej serji w formę matematyczną jest zagadnieniem bardziej skomplikowanem, niż w serjach, któreśmy podali na rys. 205 i 206.

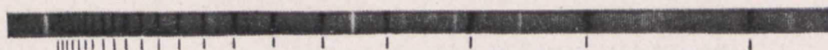
Zasługuje na podkreślenie fakt, iż pierwiastki pokrewne chemicznie mają zazwyczaj widma o strukturze podobnej. Tak np. wszystkie metale alkaliczne posiadają te same serje o cechach analogicznych; między innemi, w przypadku metali alkalicznych, charakterystycznem jest ukazywanie się linij podwójnych (dubletów), które dobrze są znane z widma sodu (linja żółta sodu przy dostatecznem rozszczepieniu występuje jako podwójna). Podobnie w przypadku ziem alkalicznych, — tylko, że zamiast dubletów występują bądź linje pojedyńcze, bądź potrójne (tryplety), i t. d.

Widmo, t. zw. serji głównej sodu, znajdzie czytelnik na tablicy X, rys. 207. I tu uwydatnia się doskonale istnienie kresu, ku któremu

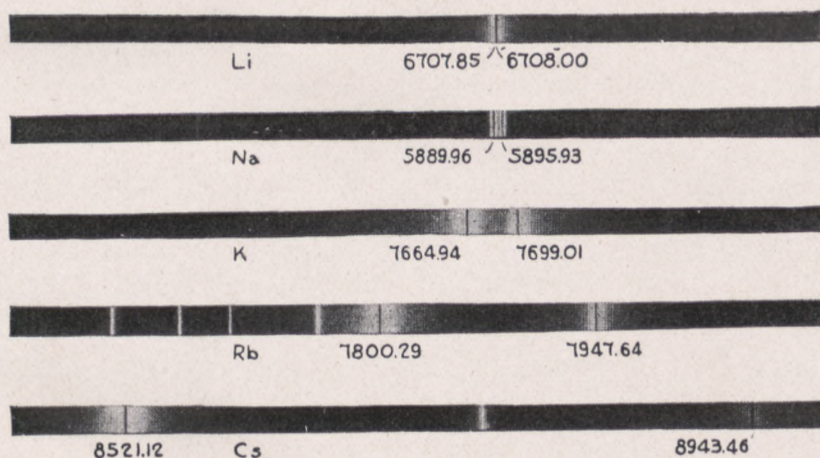
---

[1]) Bliższe wyjaśnienie podane będzie na str. 657.

[2]) Nader często są używane w pracy laboratoryjnej, nawet na terenie szkoły średniej, rurki Geisslerowskie napełnione helem. Oddają one cenne usługi w cechowaniu spektroskopów, gdyż linje helu są równomiernie rozmieszczone we wszystkich częściach widma widzialnego. Wszelako widmo zwykłej helówki jest widmem obojętnego atomu helu, a nie widmem helu zjonizowanego. Do jonizacji helu potrzebne są specjalne warunki nader silnych pól elektrycznych, których niema w normalnie używanych rurkach.



Rys. 207.
Na zdjęciu widma absorbcyjnego sodu dostrzegamy kolejne prążki t. zw. serji głównej. Kres serji, ku któremu zbiegają się linje, mamy po lewej ręce. Naznaczono 21 prążków.




Rys. 208.
Na fotografjach widm metali alkalicznych litu, sodu, potasu, rubidu i cezu występują pierwsze dublety linij serji głównej; ukazują się tu one jako cienkie linje absorbcji. Ich długości fal są podane w jednostkach Angströma. Uderzającem jest, że odległość pomiędzy linjami dubletów stale i szybko wzrasta ze zwiększeniem liczby porządkowej pierwiastka (ciężaru atomowego).

Zdjęcie zostało wzięte z książki: F o o t e nad M o h l e r. The origin of spectra.

zbiegają się linje seryjne. Na zdjęciu tem[1]), wykonanem przez W o o d a, nie dostrzega się rozdwojenia lnij ze względu na niewystarczającą dyspersję. Dublety w widmie metali alkalicznych pokazane są nader wyraźnie na rys. 208 tej samej tablicy.

Na tych ogólnych uwagach o bardziej skomplikowanych serjach zmuszeni jesteśmy poprzestać, odsyłając czytelnika do bardziej specjalnych dzieł, których wykaz dajemy w końcu tej książki.

---

[1]) Nadmienimy, że W o o d i F o r t r a t dokonali badań nad absorbcją pary sodu w serji głównej, posługując się potężniejszemi środkami optycznemi, niż ktokolwiek z innych badaczów. Ich spektrograf posiadał *trzynaście* pryzmatów kwarcowych, o kącie 60$^0$ każdy; rura napełniona parą sodu miała 3 metry długości. Autorom tym udało się otrzymać na kliszy 57 prążków badanej serji; w pierwszych siedmiu prążkach mogli oddzielić linje dubletów, które w wyższych wyrazach zbiegają się tak blisko, że nie dały sę oddzielić nawet przy użyciu niezwykle silnej dyspersji.

## Rozdział XI.

### NIELS BOHR.

NIELS BOHR urodził się w r. 1885 w Kopenhadze, gdzie ojciec jego, fizjolog, był profesorem uniwersytetu. Studja wyższe ukończył w roku 1911, otrzymując stopień doktora filozofji. W tym samym roku udał się do Cambridge, gdzie pracował w Cavendish Laboratory pod kierunkiem J. J. Thomsona. W r. 1912 przeniósł się do Manchester, gdzie się bliżej zapoznał z pracami szkoły Rutherforda, związanemi z teorją jądra atomowego. Tu stworzył też swój słynny model atomu. Po rocznym pobycie w Kopenhadze powrócił do Manchester w r. 1914. W roku 1916 został profesorem fizyki teoretycznej w swem rodzinnem mieście, a od r. 1920 — kierownikiem instytutu fizyki teoretycznej, który skupia licznych badaczy, zjeżdżających się do Kopenhagi z całego świata. W instytucie Bohra wzięły swój początek ważne badania nad fizyką atomów, — tak teoretyczne, jak i doświadczalne.

Bohra model atomu stanowił olbrzymi postęp w porównaniu z modelem Rutherforda. Bohr pierwszy zdołał ściśle wytłumaczyć widma linjowe wodoru i helu zjonizowanego. Wyprowadzenie na mocy danych teoretycznych stałej Rydberga znamionowało przewrót w spektroskopji i wywarło potężne wrażenie na umysły. Zdawało się zrazu, że Bohr wyświetlił zagadkę atomu i że postępy w mechanice atomów będą zależały jedynie od postępów w matematycznem opanowaniu przypadków skomplikowanych, które spotykamy w atomach ciężkich. Obecnie jednak model Bohra okazał się z jednej strony niewystarczającym do ujęcia całokształtu danych empirycznych, z drugiej zaś — budzi zastrzeżenia teoretyczne. Model ten nie utracił jednak swej wartości heurystycznej i dydaktycznej. On jeden pozwala poglądowo ujmować zagadnienie promieniowania atomu, i eksperymentator powraca dość chętnie, gdy chodzi o zobrazowanie przewidywań lub wyników. Zresztą i nowo-



NIELS BOHR

czesna mechanika atomów posługuje się wielu pojęciami, zaczerpniętemi z teorji B o h r a; ta ostatnia pozwala zrozumieć genezę wielu obecnych poglądów, które bez znajomości modelu B o h r a wydawałyby się niepojęte. W zasadzie odpowiedniości powiązał B o h r swą kwantową teorję promieniowania z klasyczną teorją undulacyjną. W roku 1921 i 1922 oświetlił B o h r układ perjodyczny pierwiastków ze stanowiska swojej teorji budowy atomu i pokazał, jak się komplikuje stopniowo układ elektronów, okalających jądro, w miarę wzrastania numeru porządkowego atomu. Teorja ta doprowadziła do wykrycia przez C o s t e r a i v. H e v e s y'ego pierwiastka Nr. 72, któremu od łacińskiej nazwy miasta Kopenhagi nadano miano hafnium. W roku 1922 otrzymał B o h r nagrodę Nobla.

## Bohra model atomu.

**A. Widmo wodoru.** Podaliśmy wyżej pogląd E. R u t h e r f o r d a na strukturę atomów. W modelu R u t h e r f o r d a rdzeń atomu stanowi jądro naelektryzowane dodatnio; najbliższa okolica jądra ma być zupełnie wolna od elektronów, które wytwarzają zewnętrzną powłokę atomu. Główną wadę modelu R u t h e r f o r d a stanowił brak stateczności: wskazany układ części naelektryzowanych nie byłby trwały, gdyż, wskutek działania sił elektrycznych, elektrony musiałyby złączyć się z jądrem, i atom o żądanej strukturze niebawem przestałby istnieć.

N i e l s B o h r [1]) znalazł wyjście z tej sytuacji w założeniu dodatkowem, że elektrony nie pozostają w spoczynku, lecz poruszają się naokoło jądra, jak planety naokoło słońca. Przyciąganie elektrostatyczne gra wtedy rolę siły dośrodkowej i ruch może trwać nieograniczenie, jak i ruchy ciał niebieskich. Taki model posiada już cechę trwałości. Jeżeli się wmyślić głębiej w koncepcję powyższą, dostrzega się nowe trudności. Według praw klasycznej elektrodynamiki, elektron w ruchu musi wypromieniowywać energję. Do takiego wniosku prowadzą ścisłe rozważania teoretyczne, które dają też

[1]) N. B o h r. On the constitution of atoms and molecules. Philosoph. Magazine, 1913, t. 26, trzy rozprawy. Jasno ujęte zestawienie najważniejszych myśli i wyników, zawartych w rozprawach powyższych, znaleźć można w książce: N. B o h r, Drei Aufsätze über Spektren u. Atombau, wyd. Viewega, 1924, s. 1 — 19.

Być może, iż myśl o krążeniu elektronów pochodziła z laboratorjum R u t h e r f o r d a. W każdym razie w swych pracach oryginalnych, dotyczących modelu atomu (r. 1911 i 1914), R u t h e r f o r d nic nie wspomina o ruchach elektronów wewnątrz atomu.

możność wyliczenia energji wypromieniowywanej. Jednak i proste zupełnie rozumowanie uzasadnia wypromieniowywanie energji przez elektron poruszający się po elipsie. Wyobraźmy sobie, że jedna z osi elipsy zmniejsza się wciąż — tak, iż elipsa przechodzi wreszcie w linję prostą; ruch eliptyczny przemienia się wtedy w ruch harmoniczny. Perjodyczny ruch elektronu po prostej stanowi rodzaj prądu przemiennego, analogicznego do tych prądów, jakie mamy, naprzykład, w antennie radjowej; jak i tam, energja będzie promieniować nazewnątrz.

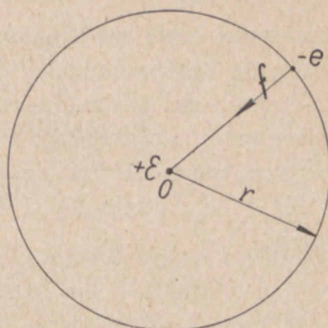
Gdyby zatem elektron krążący podlegał prawom fizyki klasycznej, traciłby wciąż energję drogą wypromieniowywania, a wskutek tego nie mógłby się utrzymać na danej orbicie, lecz spadłby po pewnym czasie na jądro. Bohr wszakże zakłada, że ruchami elektronów w atomie rządzą prawa odmienne od praw elektrodynamiki, znanych ze świata makroskopowego, i że elektron krążący nie wytwarza promieniowania. Do przypuszczenia o niemożności stosowania praw fizyki klasycznej skłania go, między innemi, fakt, że w wytłumaczeniu promieniowania ciała czarnego, zjawiska fotoelektrycznego, kresu widma Röntgenowskiego należy stosować rozważania kwantowe (p. str. 335), a fizyce klasycznej obce jest pojęcie kwantów.

Weźmy atom najprostszy, mianowicie atom wodoru, który, jak wiemy, posiada tylko jeden elektron i jądro w postaci protonu. Elektron, krążący naokoło protonu po trwałym torze, miałby w myśl powyższego stanowić układ stateczny, nie promieniujący. Jakże wytłumaczymy istnienie widma wodoru, składającego się z licznych oddzielnych linij? Aby odpowiedzieć na to pytanie ucieka się Bohr do nowych hipotez. Zakłada mianowicie, że istnieje dużo trwałych orbit i że elektron wypromieniowuje energję, przeskakując z jednej orbity na drugą. Emisja ma się odbywać zgodnie z zasadą zachowania energji. Elektron bowiem, jak to wykażemy, posiada na dalszych orbitach energję większą, a na bliższych mniejszą; przeskakując z dalszej orbity na bliższą, traci energję, która ma być wypromieniowywana w postaci kwantu $h\nu$. Jeżeli więc założymy, że energja na orbicie dalszej równa jest $E_1$ a na orbicie bliższej — $E_2$, to w myśl hipotezy Bohra:

$$E_1 - E_2 = h\nu \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Wzór ten pozwala zatem obliczyć $\nu$, a więc i długość fali światła wypromieniowywanego. Pozostaje do wytłumaczenia fakt, że linje wodoru dają się ująć w serje, dla których są charakterystyczne proste związki

liczb całkowitych. Wiedziony intuicją, zakłada B o h r, że stateczne tory elektronu czynią zadość pewnemu prawidłu kwantowemu[1]), uzależniającemu orbity możliwe od liczb całkowitych. To przypuszczenie prowadzi w konsekwencji do seryj Lymana, Balmera i innych, któreśmy podali w rozdziale poprzednim (str. 642).



Rys. 209.

Dla uniknięcia bardziej skomplikowanych obliczeń uczynimy z początku założenie najprostsze, przypuszczając, że elektron zakreśla drogę kołową (rysunek 209). Wprowadzimy następujące oznaczenia: $e$ — ładunek elektronu, $m$ — jego masa, $\mathcal{E}$ — ładunek jądra, $r$ — promień orbity elektronu, $v$ — prędkość linjowa elektronu, $\omega$ — jego prędkość kątowa. Przyciąganie elektronu przez jądro stanowi siłę dośrodkową $m\omega^2 r$ i w myśl C o u l o m b'a:

$$\frac{\mathcal{E}e}{r^2} = m\,\omega^2\, r, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$\mathcal{E}e = m\,\omega^2\, r^3 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2a)$$

Za możliwe orbity stateczne uważać będziemy takie, na których moment ilości ruchu elektronu jest równy $n \,.\, \frac{h}{2\pi}$, gdzie $n$ jest jedną z kolejnych liczb całkowitych, a $h$ oznacza stałą P l a n c k a. Przez ilość ruchu rozumiemy $mv = m\omega r$; moment ilości ruchu w odniesieniu do punktu 0 równa się $m\omega r^2$. Warunek kwantowy B o h r a daje się zatem ująć we wzór:

$$m\,\omega\, r^2 = \frac{n\,h}{2\,\pi} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Podnosząc równanie 3-cie do kwadratu i dzieląc otrzymany wynik przez równanie 2-gie, będziemy mogli znaleźć możliwe promienie orbit; przeróbka ta prowadzi do wzoru

$$r = n^2 \,.\, \frac{h^2}{4\pi^2\,\mathcal{E}\,.\,e\,.\,m} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

---

[1]) Warunek kwantowy mechaniczny zastosował w teorji widm jeszcze przed B o h r e m (w r. 1912) astronom angielski J. W. N i c h o l s o n. Teorja jego pod innemi względami różniła się zasadniczo od teorji B o h r a i nie doprowadziła do poważniejszych wyników.

$n = 1, 2, 3 \ldots$, zatem kolejne promienie $r_1, r_2, r_3 \ldots$ będą się miały do siebie, jak kwadraty liczb naturalnych:

$$r_1 : r_2 : r_3 \ldots = 1^2 : 2^2 : 3^2 \ldots$$

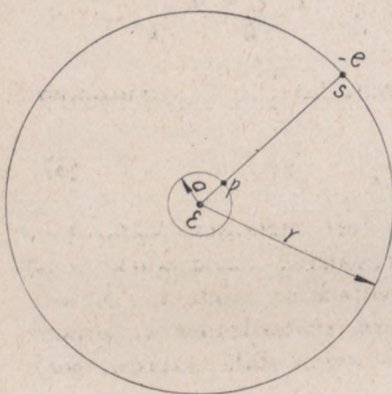
Promienie orbit możliwych rosną więc nader szybko, gdy przechodzimy do torów bardziej oddalonych od jądra.

Długości fal widma wysyłanego przez atom da nam wzór 1-szy. Wymaga on uprzedniego obliczenia energji całkowitej, jaką posiada elektron, poruszający się po orbicie $n$-tej. Energja całkowita $E = E_k + E_p$, gdzie $E_k$ i $E_p$ oznaczają energję kinetyczną i potencjalną.

$$E_k = \tfrac{1}{2} mv^2 = \tfrac{1}{2} m\omega^2 r^2 = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{\mathcal{E}e}{r}, \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (5)$$

gdyż mnożąc obie strony równania 2-go przez r, mamy $m\omega^2 r^2 = \dfrac{\mathcal{E}e}{r}$.

Co dotyczy energji potencjalnej, tak w tym, jak i w innych przypadkach, możemy obliczać tylko różnicę pomiędzą energją potencjalną elektronu na orbicie $n$-tej, a energją potencjalną, którą on posiada, znajdując się w jakiejś określonej odległości od jądra, np. w odległości $a$ (rys. 210). Ta różnica równa jest pracy wykonywanej przez siły pola, gdy elektron przechodzi, naprzykład, z punktu $s$ na rys. 210 do punktu $p$. Znane z fizyki elementarnej twierdzenie mówi, że praca wykonana przy przejściu w polu elektrycznem pewnego ładunku z jednego punktu do drugiego równa jest iloczynowi z danego ładunku przez różnicę potencjałów pomiędzy punktami. Zastosujemy to twierdzenie do przejścia z punktu $s$ do $p$. Potencjał w $s$ równa się $E/r$; potencjał $p = E/a$. Praca wykonana $W$, zważywszy ujemny ładunek elektronu, wyraża się wzorem:



Rys. 210.

$$W = (-e)\left(\frac{\mathcal{E}}{r} - \frac{\mathcal{E}}{a}\right) = \frac{\mathcal{E}e}{a} - \frac{\mathcal{E}e}{r} = E_p \quad . \ . \ . \ . \quad (6)$$

Napisaliśmy, że ta praca jest miarą energji potencjalnej — podobnież, jak miarą energji potencjalnej ciała podniesionego na pewną wyso-

kość jest praca wykonywana, gdy to ciało spada z danej wysokości na powierzchnię ziemi.

W myśl wzorów 5-go i 6-go mamy, że energja całkowita

$$E = E_k + E_p = \frac{\mathcal{E} e}{a} - \frac{1}{2}\frac{\mathcal{E} e}{r}.$$

Podstawiając wartość $r$ z wzoru 4-go, znajdujemy, że

$$E = \frac{\mathcal{E} e}{a} - \frac{1}{n^2} \cdot \frac{2\pi^2 \mathcal{E}^2 e^2 m}{h^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Zastosujemy teraz wzór 1-szy, by znaleźć częstość drgań wysyłanej fali świetlnej. Załóżmy, że elektron przeskakuje z orbity $n$-tej, na której posiada energję $E_1$, odpowiadającą wzorowi 7-memu, na orbitę $k$-tą, gdzie energję $E_2$ będzie wyrażać wzór

$$E_2 = \frac{\mathcal{E} e}{a} - \frac{1}{k^2} \cdot \frac{2\pi^2 \mathcal{E}^2 e^2 m}{h^2}$$

W myśl wzoru 1-go

$$h\nu = E_1 - E_2 = \frac{2\pi^2 \mathcal{E}^2 e^2 m}{h^2}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right) i \quad \nu = \frac{2\pi^2 \mathcal{E}^2 e^2 m}{h^3}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right).$$

Od częstości drgań przechodzimy do liczby fal $\frac{1}{\lambda} = \nu'$ i znajdujemy

$$\nu' = \frac{\nu}{c} = \frac{2\pi^2 \mathcal{E}^2 e^2 m}{h^3 c}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (8)$$

W tym wzorze czynnik przed nawiasem jest wielkością stałą, $k$ i $n$ są liczbami całkowitemi, które mogą przybierać różne wartości zależne od tego, z jakiej orbity $n$ spada elektron na orbitę $k$. Porównywując wzór 8-my z wzorami seryj wodoru, stwierdzamy ich zupełne podobieństwo. Jeżeli nasza teorja jest słuszna, stała wzorów, wypisanych na str. 643,

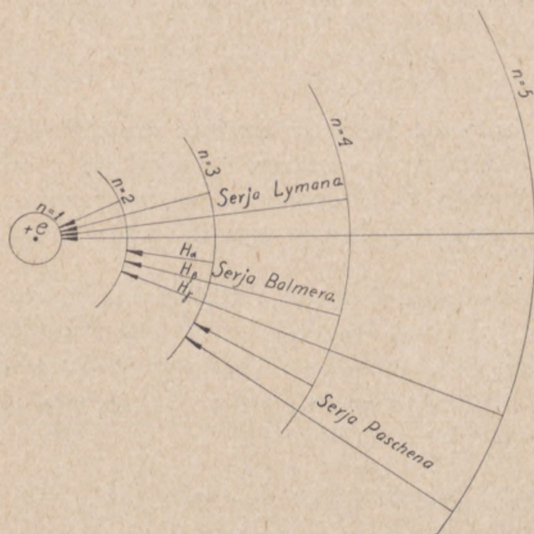
$$R = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3 c}\,^{1)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (9)$$

Stała $R$ znana jest na podstawie badań spektralnych z ogromnym stopniem dokładności. Według nowszych źródeł $R = 109677.69 \text{ cm}^{-1}$. Prawą stronę wzoru 9-go łatwo obliczymy, mając na względzie, że $e = 4.774 \times 10^{-10}$ j. el. st.; $m$, masa elektronu, równa się $1.662 \times$

---

[1]) Ładunek $\mathcal{E}$ jądra wodoru $= e$, t. j. ład. elementarnemu. Wzór 9-ty otrzymujemy, podstawiając we wzorze 8-ym $e$, zamiast $\mathcal{E}$. Stała $R$ jest to czynnik, znajdujący się we wzorze 8-ym przed nawiasem.

$\times 10^{-27}$ gr [1]), $h = 6.55 \times 10^{-27}$ erg. sek., $c = 2.9987 \times 10^{10}$ cm. sek.$^{-1}$ W rachunkach możemy poprzestać na miernej dokładności, gdyż błąd wyznaczenia niektórych wielkości, naprzykład $h$, przewyższa 1 na 1000; znajdujemy w ten sposób, że teorja Bohra daje $R = 1.097 \times 10^5$ cm.$^{-1}$ Mając na względzie dopiero uczynioną uwagę, musimy przyznać, iż teorja idealnie się zgadza z danemi empirycznemi.




Rys. 211.

W oświetleniu teorji B o h r a wyjaśnia się sens fizyczny wzorów serjnych. Jeżeli porównamy wzór Balmera (str. 641) z wzorem 8-mym, dostrzeżemy, iż dotyczy on przechodzenia elektronu z którejkolwiek orbit dalszych na orbitę 2-gą. Na rys. 211 uzmysłowiliśmy przejścia elektronu, odpowiadające trzem pierwszym serjom widmowym wodoru.

Realne istnienie w atomie oddzielnych poziomów energetycznych, na których mogą się znajdować elektrony, zostało stwierdzone w przypadku wodoru bezpośredniemi doświadczeniami, opartemi na metodzie zderzeń z elektronami powolnemi. Mówiliśmy już poprzednio o tem (str. 374 i dalsze), że strumień elektronów powolnych, napotykając atomy, oddaje im energję dopiero wtedy, gdy wartość tej ener-

[1]) Oblicza się $m$, znając wartość stosunku $e/m$ i wielkość ładunku elementarnego $e$. Czytelnik zechce zwrócić uwagę na to, że na str. 554 $e/m$ jest podane w jednostkach elektromagnetycznych bezwzględnych. Posługując się jednostkami elektrostatycznemi, musimy pomnożyć tamtą wartość przez $3 \times 10^{10}$.

gji odpowiada pewnemu minimum, niezbędnemu do wzbudzenia emisji rezonansowej. W myśl teorji B o h r a rezonans polega poprostu na tem, że elektron przechodzi z orbity podstawowej, na której się znajduje normalnie, na orbitę najbliższą. W przypadku wodoru jednoatomowego orbita podstawowa, najniższa, odpowiada liczbie kwantowej n = 1 (rys. 211). Promieniowanie rezonansowe powinniśmy otrzymać przy powrocie na poziom energetyczny pierwotny elektronu podniesionego na orbitę drugą. Łatwo możemy obliczyć wartość potencjału rezonansowego (s. 375). W myśl teorji B o h r a:

$$\nu' = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right), \text{ gdzie } R = 1.0968 \times 10^5 \text{ cm.}^{-1}$$

Stąd $\lambda = 1215.7\ \mathring{A}$, a według wzoru na s. 442

$$V = \frac{12345}{1215.7} = 10.15 \text{ volt}.$$

Również łatwo obliczyć potencjał jonizacyjny (s. 380). Jonizacja zachodzi wówczas, gdy elektron, opuszczając swą normalną pozycję, oddala się poza obręb oddziaływania jądra; można więc uważać, iż przy jonizacji atomu elektron przechodzi z pierwszej orbity na nieskończenie odległą. We wzorze

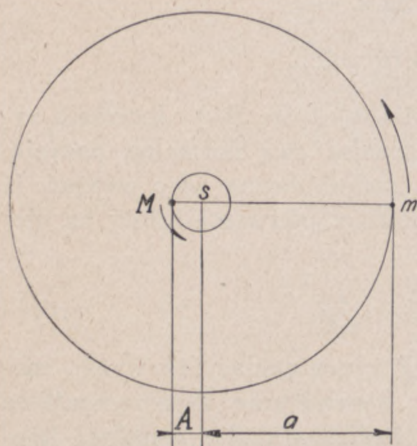
$$\frac{1}{\lambda} = \nu' = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

czynimy $n = \infty$, otrzymujemy $\lambda = {}^1/R$ i, postępując jak wyżej, mamy $V$, pot. jonizacyjny, $= 13{,}54\ V$. Sprawdzenie eksperymentalne (niełatwe, gdyż należało dokonywać badań w nader wysokiej temperaturze, przy zupełnej dyssocjacji drobin) potwierdziło całkowicie przewidywania teoretyczne. Zauważymy, przy sposobności, że pobudzanie gazów i par zapomocą uderzeń elektronów wykazuje istnienie poziomów energetycznych w atomach, zupełnie niezależnie od szczegółowych hipotez o ruchu elektronów po takich czy innych orbitach.

Teorja B o h r a tłumaczy nam nietylko emisję, lecz i *absorbcję*. Pochłanianie światła związane jest z przejściem elektronu z orbity bliższej, z niższego poziomu energetycznego, na orbitę dalszą o wyższym poziomie energetycznym. Jeżeli orbita 1-sza jest normalną, to widmo absorbcyjne wodoru jednoatomowego musi odpowiadać wzorowi 10-temu. Serja Balmera może się ukazać w absorbcji wtedy dopiero, gdyż światło napotyka atomy już pobudzone (np. zapomocą wyładowań elektrycznych), posiadające elektrony na orbicie 2-giej; doświadczenie potwierdza to w zupełności. Teorja Bohra wyjaśnia tym sposobem fakt dawno znany, lecz dawniej zgoła niezrozumiały,

że nie wszystkie linje, znane w emisji, można otrzymać w absorbcji. Oczywistem jest obecnie, że linje, które otrzymujemy w absorbcji światła przez gaz niepobudzony, odpowiadają przejściu elektronów z pewnej normalnie zajmowanej orbity na jedną z wyższych orbit. Wybór jest znacznie mniejszy, niż w zjawisku odwrotnem, t. j. w zjawisku emisji, gdzie możemy mieć różnorodne przypadki orbit początkowych i końcowych.

**B. Widmo helu.** Wyprowadzając wzór seryj wodoru (8), założyliśmy ogólnie, że ładunek jądra, naokoło którego krąży elektron, równa się $\mathcal{E}$. Wzór otrzymany możemy zatem zastosować, poza wodorem, do każdego atomu zjonizowanego, który utracił wszystkie elektrony, prócz jednego. Wiemy (str. 587), że obojętny atom helu posiada dwa elektrony, atom litu— trzy, berylu — cztery i t. d. Znalezione wyżej wzory będziemy mogli zatem stosować do atomu helu, który utracił jeden elektron, do atomu litu, któremu brak dwu elektronów, do atomu berylu, pozbawionego trzech elektronów. Doświadczalnie udało się jednak otrzymać jądro atomu z jednym elektronem tylko w przypadku helu. Daremne były dotychczas wszystkie wysiłki otrzymania choćby litu dwukrotnie zjonizowanego. Nadmienimy, że hel dwukrotnie zjonizowany stanowią cząstki α, które, zgodnie z ideami B o h r a, nie powinny promieniować; rzeczywiście — nie dają one widma.



Rys. 212.

Serje widmowe helu zjonizowanego otrzymamy, biorąc we wzorze 8-mym $\mathcal{E} = 2e$, gdyż jądro helu posiada podwójny ładunek elementarny. Znajdujemy po podstawieniu

$$\nu' = \frac{2\pi^2 (2e)^2 e^2 m}{h^3 c}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right) = 4R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad . \quad . \quad (11)$$

Serje helu zjonizowanego, podane na str. 645, są istotnie tego typu.

Zakładaliśmy dotychczas milcząco, że elektron krąży naokoło nieruchomego jądra. Byłoby to słuszne, gdybyśmy mieli do czynienia

z jądrem o masie nieskończenie wielkiej. W przeciwnym razie, podobnie jak w krążeniu planet naokoło słońca, obydwa ciała poruszają się koło wspólnego środka ciężkości. Rys. 212 wyjaśnia to bliżej. Odległości $A$ i $a$ są odwrotnie proporcjonalne do mas jądra $M$ i elektronu $m$. Szczegółowe obliczenie pokazuje, że uwzględnienie ruchu jądra nie zmienia zasadniczo wzorów; należy jedynie wszędzie zastąpić masę $m$ przez $\mu$, określone zapomocą równania:

$$\mu = \frac{m}{1 + m/M} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (12)$$

Poprawka jest bardzo niewielka. Największą wartość ma ona oczywiście w przypadku wodoru, którego jądro posiada najmniejszą masę; poprawka wynosi wtedy (stosunek $m/M = 1848$, p. str. 554) około 0.05%. W przypadku helu stosunek $m/M$ jest w okrągłej liczbie cztery razy mniejszy. Poprawki tego rzędu są najczęściej bez znaczenia w fizyce eksperymentalnej. W spektroskopji wszakże, gdzie precyzja pomiarów jest nie mniejsza, niż w astronomji, czynnik powyższy może i musi być uwzględniony. Mając to na względzie, napiszemy stałą R y d b e r g a we wzorze 9-tym:

$$R_H = \frac{2\pi^2 e^4}{h^3 . c} \cdot \frac{m}{1 + m/M} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (9a)$$

gdzie indeks $H$ oznacza wodór. We wzorze 11, który dotyczy helu, po wprowadzeniu analogicznej poprawki, mamy

$$\nu' = 4 . \frac{2\pi^2 e^4}{h^2 c} \cdot \frac{m}{1 + m/M_{He}} = 4R_{He} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad . \; . \quad (12a)$$

Przewidywana przez nas subtelna różnica (około 0.04%) pomiędzy $R_H$ a $R_{He}$ została rzeczywiście stwierdzona przez P a s c h e n a, który znalazł na drodze badań spektralnych:

$$R_H = 109677.69 \text{ i } R_{He} = 109722.14$$

Ten przykład charakteryzuje wnikliwość teorji B o h r a, jej zdolność opanowania najdrobniejszych szczegółów zjawisk widmowych.

Historycznie interesującem jest, że w roku 1913, gdy B o h r ogłaszał swe epokowe prace, znane były tylko dwie ostatnie z pomiędzy seryj helu zjonizowanego, któreśmy podali na str. 645, mianowicie — serja F o w l e r a, odkryta w roku 1912 w rurce, zawierającej mieszaninę helu i wodoru i serja P i c k e r i n g a, którą uczony ten wykrył w widmie jednej z gwiazd. Obydwie serje linij, idąc za argumentacją R y d b e r g a, przypisywano *wodorowi*. Według B o h r a

serje tego typu nie mogły należeć do wodoru, lecz jedynie — do helu. Przewidywanie to okazało się słuszne; w roku 1914 (Fowler) i 1916 (Paschen) stwierdzono doświadczeniami bezpośredniemi, że to hel wytwarza linje tych seryj.

Mówiliśmy dotychczas o orbitach kołowych, które stanowią tylko szczególny przypadek orbit eliptycznych, po których naogół musi się poruszać naokoło jądra elektron, — analogicznie do obiegu planet naokoło słońca. Już w pierwszych swych pracach z roku 1913 Bohr wyraźnie mówi o orbitach eliptycznych. Zagadnienie obiegu elektronów po elipsach pogłębił w r. 1915 A. Sommerfeld[1]), stosując zamiast jednej liczby kwantowej dwie, i przyczynił się do rozszerzenia teorji Bohra na nowe dziedziny zjawisk. Sommerfeld również zdołał wytłumaczyć subtelną strukturę linij wodoru i helu zjonizowanego, uwzględniając zmianę masy elektronu, która w myśl teorji względności (str. 406) musi zachodzić w szybkim ruchu po orbicie. Subtelna struktura linij ujawnia się dopiero przy nader silnych rozszczepieniach. Okazuje się wtedy, że linja, napozór pojedyńcza, rozpada się na liczne składowe, zawarte w granicach niewielkiego ułamka jednostki Ångströma.

**C. Widma atomów o wielu elektronach.** Gdy liczba elektronów, związanych z jądrem, przewyższa jedność, obliczenie teoretyczne widma jest niemożliwe, gdyż zagadnienie staje się matematycznie nierozwiązalnem w formie ogólnej, analogicznie do zagadnienia wzajemnego oddziaływania trzech ciał w astronomji. Wspominaliśmy już o tem, że udało się ustalić istnienie seryj widmowych w widmach ogromnej większości pierwiastków. Wzory seryjne mają jednak wówczas charakter nawpół empiryczny; ich stałe muszą być wyznaczone na drodze pomiarów spektralnych. Najprostszym z wzorów stosowanych w tej dziedzinie jest wzór Rydberga, który ma postać

$$\nu' = A - \frac{R}{(n+p)^2}, \; n = 2, 3, 4 \ldots \ldots \quad (13)$$

W tym wzorze $A$ i $p$ są to stałe, charakteryzujące daną serję, $R$ jest stałą Rydberga, którą znamy już z widma wodoru. Wzór 13-ty jest niemal równie prosty, jak i wzór Balmera. Stała $A$ jest kresem

[1]) Profesor uniwersytetu w Monachjum, autor słynnej monografji „Atombau u. Spektrallinien", która ogromnie się przyczyniła do rozpowszechnienia nowych idej w dziedzinie spektroskopji.

serji (p. str. 642), gdyż przy $n = \infty$ liczba fal $\nu' = A$. Prosty wzór Rydberga daje jednak niedostateczną dokładność w obliczeniu linij widmowych, i zwykle są stosowane wzory bardziej skomplikowane.

Ogólne zasady tłumaczenia zjawisk w atomach wieloelektronowych są te same, co i w przypadku atomów jednoelektronowych. Jak i tam, zakładamy istnienie określonych poziomów energetycznych, odpowiadających różnym orbitom. Przeskakiwaniu elektronu z orbity na orbitę towarzyszy wypromieniowywanie kwantu $h\nu$.

Wykryto niezmiernie interesujące związki pomiędzy widmami pierwiastków, a ich rozmieszczeniem w tablicy układu perjodycznego. Widma pierwiastków, znajdujących się w tej samej kolumnie układu perjodycznego, np. *Na*, *K*, *Rb*, *Cs* z kolumny pierwszej, *Ca*, *Sr*, *Ba* z kolumny drugiej, posiadającą serje widmowe zupełnie analogiczne. Ujawnia się to między innemi w tem, że spotykamy w tych widmach charakterystyczne ugrupowania linij, jednakowe dla pierwiastków tej samej kolumny. Tak metale alkaliczne dają linje podwójne (dublety), metale ziem alkalicznych — linje pojedyńcze i potrójne (singlety i tryplety), metale trzeciej kolumny — znów linje podwójne i poczwórne i t. d. Można dostrzeżoną prawidłowość nazwać *prawem kolejności*; głosi ono, że pierwiastki, następujące po sobie w układzie perjodycznym, dają ugrupowania linij, których krotność wyrażają kolejno liczby nieparzyste i parzyste.

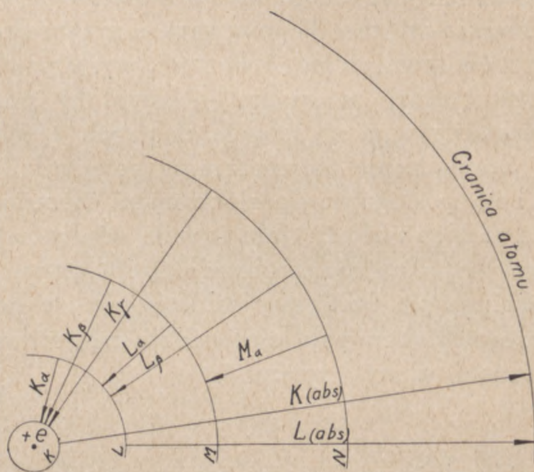
Był czas, gdy mniemano, że każdy pierwiastek daje tylko jedno jedyne charakteryzujące go widmo. W miarę gromadzenia materjału doświadczalnego przekonywano się coraz dobitniej, że twierdzenie to nie jest prawdziwe. Dziś znamy pięć widm fosforu, sześć widm tlenu, dwa widma helu i t. d. Teorja tłumaczy nam jasno fakt istnienia widm różnorodnych. Weźmy np. przypadek helu. Jedno widmo helu jest widmem obojętnego atomu helu; drugie widmo, któreśmy szczegółowo rozpatrywali na str. 645, jest widmem helu zjonizowanego, t. j. atomu helu, który utracił jeden elektron. W przypadku innych pierwiastków, np. tlenu, możliwe jest promieniowanie atomu, który utracił większą ilość elektronów, a więc — atomu dwu, trzy, czterokrotnie zjonizowanego. Przyjętem jest charakteryzować stan atomu, wysyłającego widmo, rzymskiemi cyframi. *O* I oznacza atom obojętny tlenu, *O* II — atom, który utracił jeden elektron, *O* III — dwukrotnie zjonizowany i t. p. W myśl powyższego piszemy *He* I i *He* II (p. nagłówek na str. 645). Bardzo często widmo atomów obojętnych nazywamy widmem łukowem, a widmo atomów zjonizowanych —

iskrowem. Albowiem w łuku elektrycznym, gdzie świecenie zachodzi przy stosunkowo małej różnicy potencjałów, mamy najczęściej (nie zawsze jednak) emisję atomów obojętnych; a w iskrze, szczególnie gdy się zrealizuje wysokie napięcia (p. str. 452), spotykamy atomy silnie zjonizowane.

Zważywszy analogje struktury widm pierwiastków, znajdujących się w tych samych kolumnach układu perjodycznego, należy mniemać, że charakter widma wiąże się z wartościowością pierwiastka. Wartościowość pierwiastka, w zakresie idej B o h r a, udało się wytłumaczyć istnieniem zewnętrznej powłoki elektronowej, której się przypisuje oddziaływania chemiczne. Pierwiastki pierwszych trzech kolumn układu perjodycznego noszą nazwę elektrododatnich, co się ujawnia w elektrolizie występowaniem tych pierwiastków na katodzie. Przypuszczamy, że w ich powłoce istnieje bądź jeden elektron (1-sza kolumna, metale alkaliczne), bądź dwa (met. ziem alkal.), bądź trzy (3-cia kol.), które łatwo mogą być oddzielone od atomu. To przypuszczenie wiąże się z uwagą, że metale alkaliczne (p. str. 465) lit, sód, potas, rubid, cez następują w tablicy Mendelejewa zawsze po gazach szlachetnych — helu, neonie, argonie, kryptonie, ksenonie, które są absolutnie nieczynne chemicznie. Wyobrażamy sobie, że konfiguracja elektronów, odpowiadająca gazom szlachetnym, jest specjalnie trwała i że ta trwałość układu tłumaczy niereagowanie tych pierwiastków na żadne czynniki chemiczne. Metale elektrododatnie, należy mniemać, przejmują trwały układ elektronów wewnętrznych i dołączają doń łatwo dające usunąć się elektrony zewnętrzne. Od liczby tych ostatnich zależy wartościowość; one też, przeskakując z orbity na orbitę, wytwarzają widma linjowe emisyjne. Cośmy powiedzieli o trzech pierwszych kolumnach ukł. perjodycznego, dotyczy i dalszych. Ten sposób myślenia znalazł godne uwagi potwierdzenie w spektralnem *prawie przesunięć*, które zostało ustalone dzięki pracom K o s s e l'a i S o m m e r f e l d a. Ostatni wskazali, że widma iskrowe, to jest widma atomów zjonizowanych, odpowiadają widmom atomów obojętnych, poprzedzających dany atom. Tak widmo fosforu, który zajmuje 15-te miejsce w tabl. Mendelejewa, jest odrębne od widma *Si*, który go poprzedza. Jednak atom fosforu, który utracił jeden elektron (*P* II), daje widmo analogiczne do widma krzemu; fosfor dwukrotnie zjonizowany (*P* III) daje widmo analogiczne do widma 13-go pierwiastka, glinu; widmo *P* IV będzie podobne do widma magnezu (p. tabl. na str. 465), wreszcie *P* V da widmo przypominające *Na*. Ten fakt doświadczalny jest zrozumiały

ze stanowiska hipotezy o zewnętrznej powłoce elektronowej. Atom fosforu, w myśl naszych założeń, posiada układ elektronów wewnętrznych taki sam, jak — neon; w powłoce zewnętrznej zaś pięć elektronów ruchliwych, wytwarzających widma. Gdy ten atom utraci jeden elektron, posiada strukturę, przypominającą czterowartościowy krzem; przy stracie dwu elektronów jest analogiczny do glinu i t. d. Zgodnie z powyższem widma *P* V, *Si* IV, *Al* III, *Mg* II i *Na* I powinny mieć charakter analogiczny. Doświadczenie stwierdza słuszność tego wniosku. Przypominamy, że i w przypadku helu, zgodnie z prawem przesunięć, znaleźliśmy, że widmo *He* zjonizowanego jest zupełnie analogiczne do widma wodoru atomowego.

**D. Widma Röntgenowskie.** Posługując się modelem Bohra, daliśmy obraz, wyjaśniający zgruba pewne fakty z dziedziny spektroskopji atomów ciężkich w widmie widzialnem i nadfiołkowem. Jak wykazał po raz pierwszy Kossel[1]), opierając się na tych samych ideach, można również wytłumaczyć, coprawda tylko ogólnikowo, powstawanie widm Röntgenowskich. Niemal identyczna struktura widm promieni *X* różnych pierwiastków (p. str. 464) wskazuje, iż w ich wytwarzaniu muszą wchodzić w grę nie zewnętrzne elektrony, które charakteryzują powinowactwo chemiczne, lecz elektrony wewnętrzne. Idąc za Bohrem, założyliśmy już wyżej, że pierwiastki o rosnących numerach porządkowych dołączają nowe elektrony do swych warstw zewnętrznych, przyczem ugrupowanie elektronów w warstwach najbardziej wewnętrznych nie ulega zmianie. Przed-



Rys. 213.

[1]) W. Kossel. Bemerkung zur Absorption homogener Röntgenstrahlen. Verhandl. d. Deutschen Physik. Ges., r. 1914, s. 953.

stawmy schematycznie orbity elektronów wewnętrznych w postaci kół, otaczających jądro (rys. 213) i nazwijmy te orbity, odpowiadające określonym poziomom energetycznym, $K$, $L$, $M$, $N$. Elektron $K$, naprzykład, nie może być przeniesiony na orbitę $L$, $M$, $N$, gdyż te orbity, w stanie normalnym, wszystkie są zajęte przez inne elektrony. Można go jedynie usunąć poza obręb atomu, co odpowiada t. zw. jonizacji wewnętrznej. Gdy to nastąpi, na uwolnione miejsce mogą przejść elektrony z dalszych orbit $L$, $M$, $N$. Skok elektronu z orbity $L$ na orbitę $K$ daje początek linji $K_\alpha$, — z orbity $M$ wytwarza $K_\beta$, z orbity $N$ — $K_\gamma$. W różnych atomach mogą zachodzić jednocześnie te przejścia, wobec tego pojawiają się w promieniowaniu linje serji $K$ (str. 468) i to odrazu wszystkie. Widać z tego schematu, że do wzbudzenia serji $K$ potrzeba bodźca tak intensywnego, by mógł wyrwać elektron z orbity $K$ i przenieść nazewnątrz, wbrew polu elektrycznemu, istniejącemu wewnątrz atomu. Do wytwarzania promieni $X$ używa się bądź szybkich elektronów, bądź promieni Röntgenowskich pierwszego rzędu, które mogą wyzwalać promienie Röntgenowskie wtórne. W pierwszym przypadku energja kinetyczna elektronów musi posiadać wartość, wystarczającą do wywołania jonizacji wewnętrznej, w drugim — kwant $h\nu$ padających promieni $X$ musi wystarczyć na wydobycie elektronu z wnętrza atomu.

Sprawdzenie doświadczalne potwierdziło ten pogląd. D. L. Webster, posługując się elektronami żarzenia, przyśpieszanemi zapomocą stałego woltażu, jaki dawała wielka baterja akumulatorów (można było wprowadzić w obwód 20160 ogniw), wykazał, że grupa linij $K$ ukazuje się odrazu w całości, gdy się przekroczy pewien potencjał progowy. Ten potencjał nadaje właśnie odpowiednią prędkość elektronom, w myśl wzoru

$$Ve = \tfrac{1}{2} mv^2$$

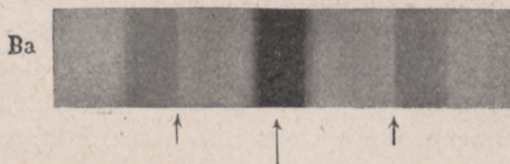
Zupełnie analogiczne prawa rządzą wypromieniowywaniem serji $L$, $M$ i t. d. Schemat, nakreślony na rys. 213, przedstawia fakty w sposób zbyt uproszczony. Poziomy energetyczne $L$, $M$, $N$ nie są proste, lecz — złożone; każdy z nich rozpada się na odrębne podpoziomy. Odpowiednio do tego linje seryj $L$, $M$, $N$ dzielą się na podgrupy, które również ukazują się odrazu w całości po przekroczeniu określonego woltażu wzbudzenia.

Z odrębnym mechanizmem emisji promieni $X$ wiąże się też i specjalny charakter ich absorbcji. Badania spektralne ujawniły, że promienie Röntgena w absorbcji nie dają widma odwróconego, jakie ob-

serwujemy w części widzialnej, podczerwieni i ultrafiolecie, lecz dają pochłanianie w postaci smug, które się zaczynają ostrą krawędzą. Jest to zrozumiałe teoretycznie. Aby otrzymać widmo absorbcyjne, bierzemy źródło, które daje intensywne widmo ciągłe promieni Röntgenowskich, a następnie umieszczamy w biegu promieni płytkę absorbującą. Przypuśćmy, że badamy absorbcję w okolicy, która odpowiada linjom serji *K*. Dopóki $h\nu$, to jest kwant promieni w widmie ciągłem, nie wystarcza do wyrwania elektronu z orbity *K* i przeniesienia go do zewnętrznej części atomu, promienie *X* są nader słabo pochłaniane, odpowiednie długości fali przechodzą swobodnie i powodują zaczernienie kliszy. Gdy ze zmniejszeniem długości fali $h\nu$ wzrośnie o tyle, że wystarczy do przesunięcia elektronu na peryferję atomu, absorbcja wzrasta momentalnie, promienie *X* nie przechodzą przez płytkę, co na kliszy uwydatnia się w postaci raptownego jej rozjaśnienia. Przy krótszych jeszcze falach $h\nu$ wystarcza nietylko na wyrwanie elektronu z głębi atomu, lecz również — na udzielenie mu prędkości $v$, w myśl wzoru:

$$h\nu = W + \tfrac{1}{2}\, mv^2.$$

W tym wzorze *W* oznacza pracę przesunięcia elektronu z orbity *K* na obwód atomu, drugi wyraz — energję kinetyczną elektronu. Smuga jasna, świadcząca o wzmożonej absorbcji, powinna się zatem ciągnąć na większej przestrzeni, począwszy od ostrej krawędzi. Widzimy to istotnie na zdjęciu, przedstawionem na rys. 214. Mamy tam pośrodku plamę ciemną, którą wytwarzają na kliszy promienie nieugięte, przechodzące przez kryształ; symetrycznie po lewej i prawej stronie mamy widmo absorbcyjne baru. W miejscach, naznaczonych strzałkami, zaczyna się absorbcja ostrą krawędzią; ciągnie się ona smugą ciągłą w stronę fal krótkich, to jest ku środkowej części zdjęcia.




Rys. 214.

Widmo absorbcyjne Ba w dziedzinie Röntgenowskiej (zdjęcie M. de Broglie'a). Zdjęcie jest symetryczne; długość fal maleje w kierunku środkowej czarnej smugi.

Na podstawie powyższego czytelnik widzi, jak olbrzymi materjał doświadczalny model atomu Bohra bądź ujmuje w ścisłe wzory zależności matematycznych, bądź też przynajmniej wyjaśnia w ogól-

nych zarysach, porządkuje[1]). Pewne fakty, których wyjaśnienie sprowadzano dalej do specjalnych zasad, stają się intuicyjnie zrozumiałe. Widzieliśmy (str. 653), że częstości drgań linij serjowych otrzymuje się jako różnicę dwu wyrazów (termów wg. nomenklatury cudzoziemskiej). R i t z znalazł, że odejmując od siebie termy różnych seryj danego pierwiastka, można otrzymać wartości $\nu$ linij, które częstokroć istotnie spotykamy w widmach. Nazwał to zasadą kombinacji. Zasada kombinacji jest jednak bezpośrednią konsekwencją zasadniczego wzoru B o h r a (wzór 1, str. 650), z którego wynika, że $\nu$ równa się różnicy energji na odpowiednich orbitach, podzielonej przez $h$. Otóż termy są proporcjonalne do wartości energji, kombinacje różnych termów, to — kombinacje różnych poziomów energetycznych. Geneza linij kombinacyjnych staje się jasna.

W zakończeniu zestawmy raz jeszcze postulaty, na których oparł B o h r swą teorję atomu.

*Postulat I.* Elektrony krążą naokoło jądra po orbitach zamkniętych, nie wypromieniowując energji.

*Postulat II.* Jako orbity trwałe elektronów możliwe są tylko te tory, które spełniają *mechaniczny warunek kwantowy*[2]).

*Postulat III.* Wypromieniowywanie energji zachodzi przy przechodzeniu elektronu z jednej orbity na drugą. Częstość drgań promieniowania wysyłanego daje wzór $h\nu = E_1 - E_2$, gdzie $E_1$ i $E_2$ oznaczają energję elektronu na orbitach pierwotnej i końcowej *(optyczny warunek kwantowy).*

Postulaty powyższe są od siebie zupełnie niezależne i, trzeba przyznać, dowolne. Od roku 1924 ujawniła się wyraźna tendencja do zastąpienia modelu B o h r a ujęciem teoretycznem, zawierającem mnej dowolnych założeń i lepiej czyniącem zadość zespołowi danych doświadczalnych. Tym usiłowaniom poświęcony jest następny rozdział.

---

[1]) Prawo Moseley'a (p. str. 467) można uzasadnić tem, że w miarę wzrastania numeru porządkowego pierwiastków, a więc i — ładunku jądra, występują większe siły elektryczne, i wzrastają zarazem różnice energji, posiadanej przez elektrony na orbitach $K$, $L$, $M$. Większym różnicom $E$ odpowiada wzrost $\nu$ w myśl wzoru $h\nu = E_1 - E_2$.

[2]) Mechaniczny warunek kwantowy sformułowaliśmy na str. 651, wzór 3. Przy szerszem ujęciu teoretycznem formułuje się go zwykle w postaci całki $\int pdq = n \cdot h$, gdzie $q$ oznacza spółrzędną uogólnioną, a $p$ — t. zw. moment sprzężony.

## Rozdział XII.

### BRAKI MODELU BOHRA.

### NOWE KIERUNKI W MECHANICE ATOMU [1].

STWORZONA przez Bohra teorja atomu wywołała w pierwszych latach swego rozwoju olbrzymi entuzjazm. Oto kilka charakterystycznych zdań, wyjętych z przedmowy do 1-go wydania głośnego dzieła A. Sommerfelda „Atombau und Spektrallinien" (Budowa atomu a linje widmowe). W roku 1919 pisał Sommerfeld „To, co dziś wysłuchujemy w mowie widm, jest prawdziwą muzyką sfer atomu, współbrzmieniem stosunków, wyrażających się liczbami całkowitemi, porządkiem i harmonją, które wzrastają, nie bacząc na różnorodność zjawisk. Po wszystkie czasy teorja linij widmowych będzie nosić imię Bohra"... Rysunki skomplikowanych układów torów eliptycznych, zakreślanych przez elektrony, podawały w Niemczech nawet podręczniki gimnazjalne; mniemano, że uczony duński całkowicie odsłonił tajemniczy mechanizm wnętrza atomu. Z biegiem czasu zaczęły się ujawniać braki teorji. Nie zdołano, naprzykład, stworzyć na gruncie teorji Bohra modelu atomu helu, pozwalającego obliczyć zgodną z doświadczeniem wartość potencjału jonizacyjnego tego pierwiastka. Fakty empiryczne wskazywały dalej, że w niektórych przypadkach należy wprowadzać połówkowe liczby kwantowe, co z punktu widzenia przyjętej teorji było absolutnie pozbawione sensu. Te i inne trudności zdawały się wskazywać, że teorja Bohra nie ogarnia całokształtu zjawisk doświadczalnych. Zwrócono wówczas uwagę i na niejednorodność struktury wewnętrznej tej teorji. Z jednej strony zakłada Bohr słuszność praw mechaniki i prawa Coulomba, z drugiej (p. str. 664) wprowadza warunki kwan-

[1]) Ze względu na wybitnie matematyczny i niezmiernie abstrakcyjny charakter najnowszych badań nad mechaniką kwantową, w szczupłych ramach tej książki możliwe było jedynie naszkicowanie głównych myśli przewodnich współczesnej teorji atomów.

towe, obce fizyce klasycznej i z jej duchem sprzeczne. Zaczęła też razić mnogość dowolnych założeń w teorji Bohra. Albowiem, gdybyśmy nawet połączyli postulaty I i II-gi (str. 664) w jedną całość, mówiąc, że atom nie promieniuje jedynie na orbitach, odpowiadających postulatowi II-mu [1]), to i tak mielibyśmy dwie niezależne od siebie hipotezy, dotyczące warunków kwantowych mechanicznego i optycznego. Pozostawało dalej do rozwiązania zagadnienie podstawowe optyki: jak się dzieje, że światło posiada w pewnych razach, np. w przypadku interferencji, charakter fal, a w innych okolicznościach, np. w efekcie fotoelektrycznym, jawi się nam jako rodzaj pocisków energji (kwantów, fotonów).

Pierwszy istotny krok naprzód ku powiązaniu faktów i głębszemu ich ujęciu teoretycznemu uczynił Ludwik de Broglie (p. str. 382) w swej pracy doktorskiej, ogłoszonej w roku 1924. De Broglie zwrócił uwagę na daleko sięgającą analogję, paralelizm pomiędzy zjawiskami mechanicznemi a optycznemi. Zasadnicze prawa mechaniki i optyki geometrycznej można wyrazić zapomocą wzorów co do charakteru swego zupełnie podobnych. Aby wyjaśnić dwoisty charakter zjawisk optycznych wprowadził de Broglie sprzężenie fal z ruchem fotonów, niosących energję, posiadających zatem określoną masę w myśl poglądów nowoczesnych (str. 408). Te wyobrażenia, przeniesione przez analogję w dziedzinę mechaniki, prowadziły do poglądu o istnieniu fal, związanych z ruchem ciał materjalnych. Doświadczenia, jak wiemy (str. 384), pozwoliły wykryć fale de Broglie'a, zwane też czasami falami materji. Teorja de Broglie'a prowadziła do mechanicznego warunku kwantowego, jako do naturalnej konsekwencji założeń podstawowych, przyczem zakładano a priori słuszność kwantowego związku optycznego. Zmniejszenie liczby założeń stanowiło znaczny postęp w stosunku do teorji Bohra.

Dostrzeżone przez de Broglie'a analogje i związki nie posunęły jednak naprzód samej mechaniki atomu. Ważne wyniki w tej dziedzinie osiągnął o dwa lata później Erwin Schrödinger [2]) dzięki twórczemu polotowi myśli i fantazji. Schrödinger umiał swą ideę podstawową rozwinąć matematycznie, wyciągnąć z niej konsekwencje fizyczne; tym sposobem zapoczątkował nową teorję atomu,

---

[1]) Pozostawałoby jednak wówczas absolutnie niepojętem, jakim sposobem czysto mechaniczny warunek kwantowy może odgrywać decydującą rolę w promieniowaniu elektronu, będącem zjawiskiem elektromagnetycznem.

[2]) Główne prace Schrödingera ukazały się w Annalen der Physik w 1-szej połowie r. 1926. Zostały potem przedrukowane, jako pewna całość, p. n. „Abhandlungen zur Wellenmechanik".

która otrzymała nazwę mechaniki undulacyjnej. Genezę tej nazwy wyjaśnimy niezwłocznie.

Idea przewodnia teorji Schrödingera polegała na pogłębieniu związku pomiędzy mechaniką a optyką. Jakeśmy już wskazali wyżej, de Broglie przeprowadził paralelę[1]) pomiędzy mechaniką punktu a *optyką geometryczną*. Schrödingerowi wydało się to niewystarczającem. Wiadomo, że optyka geometryczna, jeżeli ją nawet uzupełnić zaczątkami teorji falowej w postaci zasady Huygensa, nie wystarcza do wytłumaczenia subtelniejszych zjawisk optycznych, np dyfrakcji, której ulega światło, przechodząc przez wąskie otwory lub uginając się na brzegach ekranów. Wogóle można twierdzić, że optyka geometryczna zawodzi, gdy krzywizna torów, które zakreślają fotony (kwanty), jest duża (promień krzywizny jest wtedy, oczywiście, mały); ścisłe ujęcie zjawisk jest wtedy tylko możliwe przy stosowaniu *optyki fizycznej*, wychodzącej z równania ruchu falowego[2]). W myśl analogji de Broglie'a, fotonom odpowiadają elektrony. W atomie promień krzywizny ich torów jest tak mały, że sprzężone z nimi fale materji powinny być rozpatrywane ze stanowiska równań optyki fizycznej. I w mechanice atomu zatem za punkt wyjścia należy wziąć równanie rozchodzenia się fal; stąd nazwa mechaniki undulacyjnej. Wiążąc równanie podstawowe fal z wzorami mechaniki klasycznej i przyjmując a priori słuszność optycznego związku kwantowego, doszedł Schrödinger do swego równania zasadniczego, zawierającego prawa przemian energji w atomie. Równanie różniczkowe Schrödingera jest typu równań znanych w mechanice klasycznej. W skład równania Schrödingera wchodzi energja całkowita atomu $E$, jako parametr. Badanie matematyczne równania pokazuje, że rozwiązania, mające sens fizyczny, istnieją tylko przy ściśle określonych wartościach energji atomu $E_1$, $E_2$, $E_3$ ... ; w przypadku atomu wodoru, naprzykład, wartości $E$ są dokładnie identyczne z temi, któreśmy znaleźli na str. 653, na podstawie modelu Bohra. Przewaga teorji Schrödingera na

---

[1]) Znacznie wcześniej, bo w 1-szej połowie w. XIX-go, uczynił to był w sposób nadzwyczaj gruntowny W. R. Hamilton. Idee Hamiltona naogół znalazły słaby oddźwięk i częściowo uległy zapomnieniu.

[2]) Równanie fal ma postać następującą:

$$\frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} .$$

We wzorze powyższym $x$, $y$, $z$ są to współrzędne, $t$ — czas, $v$ — prędkość rozchodzenia się fal, $u$ — wielkość, która ulega zmianom perjodycznym, np. wychylenie cząstek.

tem jednak polega, że w niej te wartości wynikają w sposób naturalny i bezpośredni, że tym sposobem prawo występowania liczb całkowitych w serjach widmowych jest konsekwencją tak oczywistą założeń podstawowych, jak ten fakt, naprzykład, że na strunie dźwięczącej spotykamy całkowitą liczbę węzłów. W teorji Bohra natomiast prawo liczb całkowitych wynika ze zgoła niezrozumiałego warunku kwantowego mechanicznego, który, jak deus ex machina, ratuje sytuację.

Mechanika undulacyjna posiada nad dawną teorją kwantową nietylko wyższość w dalej posuniętej spójności, jednolitości, lecz, co najważniejsze, — również i przewagę w interpretacji faktów fizycznych. Tłumaczy ona ilościowo nietylko te fakty, które ujmowała w formie zgodnej z doświadczeniem teorja Bohra i Sommerfelda, lecz i takie, które się dawnej teorji wymykały; daje, naprzykład, istnienie liczb kwantowych połówkowych, których żądają badania spektralne, prowadzi do zgodnej z doświadczeniem wartości potencjału jonizacyjnego helu, wyjaśnia nowe szczegóły zjawisk Zeemana i Starka[1]; pogłębia interpretację zjawisk chemicznych[2]) i ra-

---

[1]) Zjawiska Zeemana i Starka otrzymały swe miana od nazwisk odkrywców. Polegają one na tem, że linje widmowe ulegają rozszczepieniu, gdy się poddaje promieniujące atomy działaniu pola magnetycznego (zjawiska Zeemana, odkryte w roku 1896) lub pola elektrycznego (zjawisko Starka, odkryte w r. 1913). Zjawisko Zeemana zostało przepowiedziane przez H. A. Lorentza na podstawie hipotezy drgań elektronów w atomach. Pierwotna teorja stała się jednak zupełnie niewystarczającą, gdy się okazało, że, prócz rozszczepień, przewidzianych przez genjalnego teoretyka holenderskiego, doświadczenie wykazuje rozszczepienia bez porównania bardziej skomplikowane.

[2]) Prace nad wodorem molekularnym wykazały najwymowniej, jak potężny środek badawczy stanowią nowe metody mechaniki kwantowej. Przez lat stokilkadziesiąt używano w eksperymentach wodoru, nie dostrzegając w tym gazie najmniejszej niejednorodności. Badania teoretyczne, dokonane w r. 1927 przez W. Heisenberga i F. Hunda, wskazały na możliwość istnienia dwu modyfikacyj wodoru, którym nadano nazwy ortowodoru i parawodoru. Genezy tych nazw należy szukać w dziedzinie badań widmowych. Gdy poznano szczegółowo widmo emisyjne helu (badania Rungego i Paschena w latach 1895 i 1896; p. uwagę na str. 646), stwierdzono, że można w niem wyróżnić dwa typy seryj: jedne, składające się z linij pojedyńczych, inne, analogiczne do poprzednich, składające się z linij potrójnych. Wywnioskowano stąd, że hel jest mieszaniną dwu gazów parahelu (linje pojedyńcze) i ortohelu (linje potrójne; linje ortohelu doniedawna uchodziły za podwójne, ich prawdziwą strukturę wyjaśniły dopiero prace ostatnich lat). Jednak wszelkie usiłowania, mające na celu oddzielenie tych rzekomych składników helu, pozostały bezskuteczne. Nowa mechanika kwantowa widzi w ortohelu i parahelu dwie modyfikacje tego samego pierwiastka. Poglądowo możnaby sobie tę rzecz wyobrazić, zakładając, że w modyfikacji orto dwa elek-

djoaktywnych. O kilka miesięcy wcześniej [1]), niż Schrödinger, dał odrębną mechanikę atomu młody fizyk niemiecki Werner Heisenberg. Jego punkt wyjścia był zgoła od-

trony, które posiada atom helu, wirują w kierunkach jednakowych (zgodne ustawienie osi obrotu), natomiast w modyfikacji para mielibyśmy wirowanie elektronów w kierunkach przeciwnych (przeciwne ustawienie osi obrotu). W drobinie wodoru $H_2$ mamy dwa protony i dwa elektrony. W tym przypadku należy przypisać decydujące oddziaływanie ruchom obrotowym protonów. Ortowodór odpowiadałby zgodnemu ustawieniu osi obrotu, parawodór — przeciwnemu.

Teoretyczne rozważania wskazywały, że dwie modyfikacje wodoru powinny się różnić tak własnościami optycznemi, jak i — termicznemi. Szczególnie wielkich różnic należało oczekiwać w cieple właściwem obydwu modyfikacyj w temperaturach niskich (125—200 stopni bezwzgl.). Zależność od temperatury ciepła właściwego wodoru, wziętego w stanie gazowym, dawno była znana. Przebiegu tej zależności teorje dawne nie były w stanie wytłumaczyć. Nowa teorja kwantowa (Dennison, 1928) przewidywała przebieg krzywej zgodny z doświadczeniem, zakładając, że wodór zwykły jest mieszaniną ortowodoru i parawodoru w stosunku 3 : 1 i że między temi modyfikacjami zachodzi równowaga. W niższych temperaturach ortowodór powinienby przechodzić w parawodór; jednak przemiana ta miałaby zachodzić niezmiernie wolno w stosunku do czasu trwania eksperymentów. Tym sposobem eksperymentator, praktycznie biorąc, operowałby zawsze gazem o takim samym składzie.

Sprawdzeniem doświadczalnem przewidywań teorji kwantowej zajęli się Bonhoeffer i Harteck w Berlinie i Eucken i Hiller we Wrocławiu. Najważniejszą rzeczą było stwierdzenie faktu, że istotnie można otrzymać w specjalnych warunkach wodór, zawierający więcej modyfikacji para, niż pospolity wodór. Okazało się, że pod wpływem pewnych czynników, np. węgla drzewnego, modyfikacja orto nader szybko przechodzi w modyfikację para, i ustala się równowaga termodynamiczna, przewidywana przez teorję. W temperaturze ciekłego wodoru, t. j. w — 253°C, parawodór może stanowić 99.7% mieszaniny. F. K. Bonhoeffer i P. Harteck, którzy cokolwiek wcześniej, niż badacze wrocławscy, przesłali swą notatkę redakcji Naturwissenschaften (Nr. 11-ty tego pisma z roku 1929; również — Sitzungsberichte d. Preuss. Akad. d. Wissensch. z marca tegoż roku: „Experimente über Para- und Orthowasserstoff von Dr. K. F. Bonhoeffer und Dr. P. Harteck") badali przewodnictwo cieplne wodoru w różnych temperaturach, opierając się na tem, że według teorji kinetycznej gazów przewodnictwo cieplne jest proporcjonalne do ciepła właściwego. A. Eucken i K. Hiller (Naturwissenschaften 1929, str. 182, i — Zeitschrift für phys. Chemie, 1929, Abt. B., t. 4, s. 142) mierzyli bezpośrednio ciepło właściwe. Obydwie grupy badaczy otrzymały zgodne wyniki, stwierdzające słuszność przewidywań teoretycznych w sprawie ciepła właściwego modyfikacyj orto i para. Widmo wielolinjowe (p. str. 641) parawodoru okazało się odmiennem od widma wodoru zwykłego: linje ortowodoru są w niem prawie niedostrzegalne; znów w widmie wodoru zwykłego linje modyfikacji para są bardzo słabe.

[1]) Pierwsza rozprawa Heisenberga ukazała się w Zeitschrift für Physik w r. 1925 (t. 33, s. 879) p. n. „Ueber quantentheoretische Umdeutung kinematischer u. mathematischer Beziehungen". W dalszym rozwoju mechaniki kwantowej Heisenberga wzięli nader czynny udział M. Born i P. Jordan.

mienny od punktu wyjścia Schrödingera. Gdy Schrödinger, z początku przynajmniej, przykładał dużą wagę do poglądowości, myślał obrazami, Heisenberg postawił sobie za zasadę rozpatrywanie w teorji tych jedynie wielkości, które mogą być *bezpośrednio* mierzone, jak: częstości drgań (wynikają one wprost z pomiarów długości fal świetlnych), różnice stanów energetycznych atomu [1]. Przyczynę braków dawnej teorji atomu widzi Heisenberg właśnie w posługiwaniu się takiemi niemierzalnemi i niedającemi sę nawet obserwować [2]) wielkościami, jak tor elektronu, jego pęd, pozycja w przestrzeni i t. p. W rozwinięciu matematycznem swej teorji wprowadza Heisenberg swoiste ugrupowania wielkości jednorodnych, rodzaj nieskończonych wyznaczników uogólnionych, które otrzymały nazwę „macierzy" (matryc). Operacje algebraiczne, dokonywane na macierzach, wymagają specjalnych definicyj i zostały określone w związku z interpretacją fizyczną macierzy. Charakter teorji Heisenberga jest z gruntu abstrakcyjny.

Okazało się, że mechanika undulacyjna Schrödingera i mechanika kwantowa Heisenberga prowadzą, naogół, do tych samych wyników ilościowych, choć, jakeśmy widzieli, punkt wyjścia obydwu tych uczonych był absolutnie odmienny. Ten paradoks wyjaśnił Schrödinger, wykazując, że z punktu widzenia matematycznego obydwie teorje są sobie równoważne.

Charakterystycznem jest dla obu tych teoryj to, iż nie rozpatrują

---

[1]) Można je badać, stosując uderzenia elektronów powolnych (p. str. 374).

[2]) Wymaganie Heisenberga, by się posługiwać w fizyce teoretycznej tylko wielkościami, dającemi się zmierzyć bezpośrednio, nie wydaje się uzasadnionem. Wszak teorja kinetyczna gazów oddawna wprowadza pojęcia takie, jak masy molekuł, ich prędkości, drogi swobodne i t. d., których pomiar bezpośredni jest do dziś niemożliwy lub też dopiero niedawno (prędkości) stał się możliwym w pewnych szczególnych przypadkach; a jednak teorja kinetyczna może się poszczycić niejednem doniosłem odkryciem. Niechęć wielu fizyków do hipotez, posługujących się zupełnie określonemi obrazami, wynika z pozytywistycznego stanowiska teorjopoznawczego, którego reprezentantami w dziedzinie nauki byli ludzie tej miary, co Kirchhoff i Mach. Warto wszakże zauważyć, że między wybitnymi fizykami można też spotkać ludzi o poglądzie realistycznym; do nich należy np. Max Planck. (Patrz np tego autora „Das Weltbild der neuen Physik", Lipsk, 1930, s. 9-ta i dalsze). Według pozytywistów, świat sprowadza się do kompleksu naszych wrażeń zmysłowych; realiści widzą poza wrażeniami zmysłowemi świat rzeczywisty, dostępny naszemu poznaniu. Nie mogąc tu rozpatrywać bliżej tych zagadnień, odsyłamy czytelnika do specjalnych monografij, jak np. H. Reichenbacha „Ziele und Wege der physikalischen Erkenntnis" w t. IV Handb. d. Physik, lub — B. Bavinka „Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften" (Lipsk,

one indywidualnie takich elementów atomu, jak elektrony, protony. Wypowiadają tylko sądy statystyczne o prawdopodobieństwie ich występowania w określonych miejscach lub w określonych stanach. Możnaby upatrywać w tem wadę tych teoryj; H e i s e n b e r g wykazał jednak, że takie traktowanie zagadnień wiąże się z najistotniejszym charakterem zjawisk wewnątrzatomowych, i że ściśle deterministyczne ujęcie sprawy w świecie mikroskopowym jest niepodobieństwem.

W świecie makroskopowym opieramy się na zasadzie przyczynowości. W fizyce teoretycznej znajduje ona swój najdoskonalszy wyraz w fakcie, że, znając stan obecny danych ciał i opanowawszy prawa przebiegu zjawisk, możemy przewidzieć zjawiska przyszłe. Taki ideał poznania osiągnęła, naprzykład, mechanika niebieska, gdzie, znając chwilową pozycję planety i jej prędkość, można na podstawie prawa grawitacji z ogromną dokładnością przewidzieć pozycję przyszłą tego ciała.

Jakeśmy już zaznaczyli, do przewidywania przyszłości potrzebna jest dokładna znajomość teraźniejszości. Wyjaśnimy to jeszcze na najprostszym przykładzie. Wyobraźmy sobie punkt swobodny, poruszający się w przestrzeni nieograniczonej ruchem jednostajnym prostolinjowym. Znajdziemy łatwo jego pozycję w dowolnym czasie, jeżeli będziemy wiedzieli, gdzie się znajduje w danym momencie i jaką prędkość posiada. Potrzebna jest zatem do deterministycznego ujęcia ścisła znajomość warunków początkowych punktu materjalnego.

---

1930). Zauważymy tylko, że niepodobna argumentami czysto logicznemi przekonać kogoś o istnieniu świata zewnętrznego; należy wszakże podkreślić, że w ostatecznej konsekwencji pozytywizm prowadzi do solipsyzmu, t. j. do uznawania jedynie *swego własnego* świata wrażeń i przeżyć. Warto też przypomnieć, jak gwałtownie zwalczali pozytywiści teorję atomistyczną w końcu w. XIX-go — w imię nauki prawdziwej, nauki „wolnej od mamideł zmysłowych". Jeden z najbardziej zapalonych zwolenników M a c h a, W i l h e l m O s t w a l d, pisał w swych „Vorlesungen über Naturphilosophie" (wyd. 2-gie, Lipsk, 1902): „Prawa stechiometryczne pozostaną w chemji w tych czasach jeszcze, gdy atomy oddawna już będzie można znaleźć tylko w pyle bibljotek..."

Znamiennem jest, że właśnie w dziedzinie pogardliwie traktowanej atomistyki teza pozytywistów zawiodła zupełnie. Oto np. co pisze N i e l s B o h r, kóry jako zwolennik pozytywizmu nie może być posądzony o stronność: „...Niezwykły rozwój fizycznej sztuki eksperymentatorskiej zapoznał nas z dużą liczbą zjawisk, które pozwalają bezpośrednio orzekać o ruchach i liczbie atomów. Znamy nawet zjawiska, w których napewno możemy upatrywać działanie pojedyńczych atomów lub nawet części atomu... tym sposobem musiała ustąpić wszelka wątpliwość co do realności atomów..." (Naturwissenschaften, 1930, s. 73).

Jeżeli dowiedziemy, że dokładne określenie warunków początkowych ruchu elektronu jest niemożliwością, to tem samem podkopiemy fundamenty ściśle deterministycznego ujmowania świata atomów. Następujące rozumowanie H e i s e n b e r g a pokazuje właśnie, że niepodobieństwem byłoby na drodze obserwacyj ustalić jednocześnie położenie elektronu i jego prędkość. Ze względu na nikłe rozmiary elektronu należy go obserwować zapomocą mikroskopu. Mikroskop jednak posiada tylko ograniczoną zdolność rozpoznawczą, wynikającą z dyfrakcji fal świetlnych, uginających się na małych ciałkach [1]). Mikroskop nie pozwala rozróżniać przedmiotów mniejszych, niż $^1/_2$ długości fali światła użytego do obserwacji. Aby wyznaczyć jak najdokładniej pozycję elektronu, należałoby zastosować do badań mikroskopowych fale jak najkrótsze, np. promienie gamma. Nie zatrzymujemy się na trudnościach technicznych; przypuszczamy, że konstrukcja takiego narzędzia jest możliwa. Mając idealny mikroskop, wyznaczamy ściśle pozycję elektronu. Wyznaczenie dokładne jego pędu stanie się jednak wówczas nieziszczalne, a to ze względu na zjawisko Comptona (p. str. 361), które występuje zawsze, gdy kwanty fal krótkich padają na elektron, i które zmienia zasadniczo prędkość posiadaną przez elektron. Tak więc w świecie mikroskopowym same nasze środki badania, być może nie dość subtelne w stosunku do rzeczy obserwowanych, zmieniają przebieg zjawisk w sposób istotny. H e i s e n b e r g wykazał, że w omawianym przez nas przypadku obowiązuje wzór:

$$\Delta q \times \Delta p = h \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (1)$$

W tym wzorze $q$ oznacza spółrzędną charakteryzującą pozycję elektronu, $p$—jest to pęd elektronu, $h$ oznacza stałą P l a n c k a; przez $\Delta p$ i $\Delta q$ rozumiemy błędy wyznaczania odpowiednich wielkości, wynikające z istoty metod pomiarowych, jakiemi rozporządza ekspe-

[1]) Nie wchodząc w dokładniejsze rozpatrywanie tej sprawy, zilustrujemy przebieg zjawisk, uciekając się do porównania. Na brzegu morskim duże głazy zatrzymują bieg fal; obserwujemy za nimi wodę stosunkowo spokojną; natomiast małe kamienie, których rozmiary są mniejsze od grzbietów fal, giną, zalewane przez pędzące bałwany. Podobnie w przypadku światła: tylko większe zasłony zatrzymują fale i są widzialne, — drobne ciałka wskutek dyfrakcji giną w falach.

Wzmiankowaliśmy wyżej (str. 295), że już Tomasz Young przewidywał oddziaływanie dyfrakcji na zdolność rozpoznawczą mikroskopu. Czytelnik, interesujący się bliżej tą sprawą, znajdzie szczegółowy wykład o badaniach A b b e g o i uogólnienie teorji A b b e g o, dane przez M. W o l f k e g o, w ostatniem wydaniu „Optyki" znanego niemieckiego podręcznika M ü l l e r - P o u i l l e t a.

rymentator. Z wzoru widać, że im dokładniej określimy $q$, to jest, im mniejsze jest $\Delta q$, tem większy błąd popełnimy w wartości pędu $p$.

Rozpatrzmy dla przykładu elektron, biegnący po pierwszej orbicie (p. str. 654, r. 211). Przypuśćmy, że teorja B o h r a daje przybliżoną wartość tego pędu; z obliczenia wynika, że $p$ elektronu równa się w liczbie okrągłej $2 \times 10^{-19}$ jedn. *C. G. S.* Długość toru elektronu jest rzędu $10^{-8}$ cm.[1]). Jeżeli zechcemy wyznaczyć mikroskopowo pozycję elektronu na torze z dokładnością do $^1/_{1000}$, będziemy musieli dokonać pomiaru, stosując fale o $\lambda$ rzędu $10^{-11}$ cm; $\Delta q$ będzie tegoż rzędu wielkości. A zatem

$$\Delta p = \frac{h}{\Delta q} = \frac{6.55 \times 10^{-27}}{10^{-11}} = 6.55 \times 10^{-16}.$$

Porównywując wartości $p$ i $\Delta p$, przekonywamy się, że pomiar mikroskopowy daje błąd w wartości $p$, przewyższający setki razy wielkość mierzoną. Pomiar tego rodzaju jest absolutnie bezwartościowy.

Inaczej przedstawia się ta sama kwestja w zjawiskach makroskopowych. Jeżeli zechcemy zastosować wzór (1) do przypadku kulki karabinowej, która waży 10 gr. i posiada prędkość 500 m/sek., znajdziemy, że, przy $p = 5 \times 10^5$ jedn. *C. G. S.*, jeżeli określimy pozycję kulki z tą samą dokładnością, co i pozycję elektronu, t. j. do $10^{-11}$ cm., popełnimy błąd $\Delta p = 6.55 \times 10^{-16}$ — procentowo absolutnie znikomy.

Uogólniając i rozszerzając otrzymany wynik, wygłosił H e i s e n b e r g *zasadę niewyznaczalności,* w myśl której w świecie mikroskopowym niemożliwe jest traktowanie deterministyczne elementarnych części, z których się składają atomy i promieniowanie; w tej dziedzinie możliwe jest tylko statystyczne ujmowanie przebiegu zjawisk.

Wynik badań H e i s e n b e r g a wzbudził olbrzymie zainteresowanie, gdyż otworzył nowe, zupełnie nieoczekiwane horyzonty myślenia.

---

[1]) Na podstawie obliczeń teorji kinetycznej gazów można twierdzić, że średnica atomu jest rzędu $10^{-8}$ cm. Rozważania teoretyczne, dotyczące energji elektronu, dają na jego promień liczbę rzędu $10^{-13}$ cm. Z badań nad rozpraszaniem cząstek $\alpha$ przez materję (p. str. 588) wynika, że $10^{-12}$ cm. stanowi rząd wielkości jąder atomów ciężkich, jak — srebra, miedzi, złota. Stąd wniosek, że jądro zajmuje zastanawiająco małą część całego atomu. Liczby, dotyczące rozmiarów jądra i elektronów, mają znaczenie czysto orjentacyjne, gdyż podstawy obliczeń są niepewne. Rozmiary jądra, np., wyliczono na podstawie przechodzenia cząstek $\alpha$ przez materję, stosując metody fizyki klasycznej. Nie ulega jednak wątpliwości, że głębsze, wszechstronniejsze ujęcie rozpraszania cząstek $\alpha$ przez ciała materjalne wymaga stosowania metod nowej mechaniki kwantowej, która odrzuca poglądowe rozpatrywanie elementarnych części atomu

Według krańcowego poglądu, zasada przyczynowości, która dotychczas stanowiła fundament wszelkiego badania przyrodniczego, została, jeżeli nie zupełnie obalona, to przynajmniej poważnie zachwiana. W tej sprawie toczą się jeszcze dyskusje i daleko do ostatecznego jej wyjaśnienia. Możnaby tylko wyrazić mniemanie, że zasada Heisenberga, opierając się na faktach empirycznych, może ulec przeobrażeniu w miarę uzyskania nowego materjału doświadczalnego. Tak np. nieoznaczoność impulsu, gdy jest dokładnie wyznaczona pozycja elektronu, opiera się na istnieniu zjawiska Comptona. Jasnem jest, że przed rokiem 1923 ten argument nie mógł istnieć. Czy nie zostaną odkryte nowe czynniki i środki badania, które uczynią wyłom w zasadzie niewyznaczalności, na to dziś niepodobna odpowiedzieć. Warto jednak uprzytomnić sobie, że pozytywiści ze szkoły Macha na początku tego stulecia napewno gotowi byli dowodzić niemożliwości obserwowania przybliżonego toru pojedyńczej cząstki $\alpha$ i przebiegu jej zderzenia z molekułami. Dziś metoda Wilsona realizuje w tej dziedzinie nietylko obserwacje jakościowe, lecz nawet znośnie dokładne pomiary. Wydaje się możliwem, że domniemane przegrody poznania nie wytrzymają naporu przyszłych zdobyczy fizyki doświadczalnej. Trudno jednak obecnie powiedzieć o tem coś stanowczego.

---

## PIŚMIENNICTWO, DOTYCZĄCE FIZYKI NOWOCZESNEJ.

W książce niniejszej mogliśmy poruszyć jedynie najgłówniejsze punkty badań współczesnych i to — tylko w głównych zarysach [1]). Podajemy poniżej tytuły kilku dzieł, które pozwoliłyby czytelnikowi pogłębić [2]) i rozszerzyć uzyskane wiadomości.

1) Fizyka Współczesna, wydawnictwo Min. W. R. i O. P., Książnica - Atlas, 1928.

---

[1]) Staraliśmy się informować czytelników o nowszych pracach fizyków polskich. Było to jednak możliwe w małym tylko stopniu, gdyż musieliśmy poprzestać na cytowaniu rzeczy, wiążących się z treścią niniejszej książki. Wskutek tego wypadło pominąć wielu nader wybitnych autorów i wiele prac doniosłych. Książka niniejsza nie daje wyobrażenia o obecnym stanie badań fizycznych w Polsce.

[2]) Książka O. Chwolsona p. n. „Fizyka Współczesna", która w najbliższym czasie ma się ukazać w polskiem tłumaczeniu p. St. Warhaftmana, jest przeznaczona dla szerszej publiczności i nie dałaby czytelnikowi głębszego wglądu w nowsze zagadnienia nauki. Zato, pod względem zakresu rozpatrywanych kwestyj, książka Prof. Chwolsona przewyższa dość znacznie wykład zawarty w tekście

Ukazał się dotychczas tylko zeszyt I-szy, zawierający na 307 stronicach dziewięć monografij z dziedziny atomistyki i kwantów, napisanych przez różnych autorów. Monografje te, niejednokrotnie pióra znawców zagadnień omawianych, są do pewnego stopnia związane w całość organiczną. Jednak, jak zwykle w książkach zbiorowych, nie osiągnięto jednolitości. Artykuły odpowiadają różnym poziomom przygotowania.

2) Wł. Natanson. Pierwsze Zasady Mechaniki Undulacyjnej. Warszawa, wydawn. Prac. Mat.-Fiz., 1930, stronic 76.

Monografja ta, jak wszystkie publikacje prof. Natansona, czaruje polotem myśli i powabem stylu. Wymaga ze strony czytelnika sporej biegłości w operowaniu symbolami matematycznemi.

3) Arthur Haas. Atomtheorie. Berlin i Lipsk, Walter de Gruyter, zawiera str. 258 w 2-giem wyd. z r. 1929.

Książka wymaga znajomości jedynie podstaw rachunku różniczkowego. Zawiera bardzo duży materjał; może dlatego nie wszędzie jest jasna.

4) Eugène Bloch. L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta. Paryż, Hermann, 1930, str. 417.

Autor podał tu treść swych wykładów w Sorbonie. Dzieło odznacza się nadzwyczajną jasnością, operuje stosunkowo skromnemi środkami matematycznemi. Dzięki umiejętnemu wyborowi materjału książka daje jasny wgląd tak w stronę eksperymentalną, jak i w stronę teoretyczną zagadnień. Książka ze wszech miar zasługuje na polecenie.

5) Karl K. Darrow. Introduction to contemporary physics. Londyn, Macmillan. (Wydanie z roku 1927 zawiera 453 stronice, jest jednak i nowsze wydanie; wyszło też tłumaczenie niemieckie).

Książka wyjątkowej wartości dydaktycznej. Odnacza się przystępnością, jasnością, przy wysokim poziomie naukowym. Odda doskonałe usługi każdemu, kto nie ma czasu na studjowanie obszernych monografij, pragnie jednak gruntownie zapoznać się z głównemi zdobyczami fizyki współczesnej.

---

powyższym. Chwolson posiada wyjątkowy dar jasnego, przejrzystego przedstawienia wyników badań naukowych; jego książka może być z pożytkiem czytana nawet przez osoby o nader skromnem przygotowaniu naukowem. Niejaką wadę dzieła stanowi miejscami nadmiar szczegółów, dla niespecjalistów częstokroć nieinteresujących.

## Ważniejsze daty, dotyczące rozwoju optyki.

Znajomość prostol. biegu światła, używanie soczewek } stwierdzamy już w VII-mym wieku **przed** Chr.

Znajomość załamania światła, „ praw odbicia „ } . . IV-ty i III-ci wiek przed Chrystusem

Klaudjusz Ptolemeusz (Ptolomeusz) (całkowite odbicie wewnętrzne światła) . . . . . . . . . . . po Chr.. 87—165

Roger Bacon (ciemnia opt.) . . . . . . . . . 1214—1294

„Optyka" Vitellona (Ciołka) . . . . . . . . ok. r. 1277

Giambatista della Porta (latarnia czarnoksięska) . . 1538—1615

Wynalezienie lunety i mikroskopu . . . . . . . . . w. XVI

Willebrord Snellius (odkrycie prawa załamania światła) . 1591—1626

Descartes (załamanie światła, teorja tęczy) . . . . 1596—1650

Wyznaczenie prędkości światła przez O. Römera . . . 1675

„Traktat o świetle" C. Huygensa (podstawy falowej teorji światła) 1678

„Opyka" Newtona (rozszczepienie światła białego, korpuskularna teorja światła) . . . . . . . . . . . . . 1704

Tomasz Young (powrót do teorji falowej światła, interferencja światła) . . . . . . . . . . . . 1773—1829

Odkrycie podczerwonej cz. widma (W. Herschel) . . . 1800

Odkrycie nadfiołkowej cz. widma (J. W. Ritter) . . . 1801

Augustyn Fresnel (badania nad dyfrakcją, poprzeczność drgań świetlnych; ostateczne zwycięstwo teorji falowej) . . 1788—1827

Polaryzacja światła przy odbiciu (Malus) . . . . . . 1808

Elektromagnetyczna teorja światła (Maxwell) . . . . . ok. r. 1860

Doświadczenie Michelsona . . . . . . . . . 1881

Wykrycie fal elektrycznych (H. Hertz) . . . . . . 1887

Odkrycie promieni Röntgena . . . . . . . . 1895

Zastosowanie pojęcia kwantów w teorji promieniowania (Max Planck) . . . . . . . . . . . . . . 1900

Odkrycie ciśnienia światła (P. Lebiediew) . . . 1900

Kwanty świetlne A. Einsteina . . . . . . . . 1905

Szczególna teorja względności (A. Einstein) . . . . 1905

Wykrycie dyfrakcji prom. Röntgena (Laue, Friedrich Knipping) . . . . . . . . . . . . . . 1912

Powstanie spektroskopji prom. X (W. H. Bragg i W. L. Bragg) 1913

Potwierdzenie doświadczalne kwantów Einsteina w zjawisku fotoelektrycznem (R. A. Millikan) . . . . . . . . 1916

Teorja względności ogólna . . . . . . . . . . . 1916

Odkrycie zjawiska Compton'a . . . . . . . . 1923
Teorja de Broglie'a sprzężenia fal i korpuskułów . . . 1924
Heisenberga mechanika kwantowa . . . . . . 1925
E. Schrödingera mechanika undulacyjna . . . . 1926
Wykrycie fal de Broglie'a (Davisson i Germer) . 1927
Odkrycie zjawiska Ramana . . . . . . . . . . 1928

## Ważniejsze daty, związane z nauką o budowie materji.

Spekulacje atomistyczne filozofów greckich (Leukipp, Demokryt) . . . . . . . . . . . V wiek przed Chr.
Ugruntowanie pojmowania zjawisk chemcznych na podstawach atomistycznych (Dalton) . . . . . . . . . . 1804
Wprowadzenie pojęcia o ładunku elementarnym elektryczności (S. Johnstone-Stoney, 2-gie prawo elektrolizy) . . . . . . . . 1874
Stwierdzenie istnienia elektronu, jako części składowej atomów (J. J. Thomson) . . . . . . . . . . . . . 1897
Odkrycie promieniotwórczości uranu (H. Becquerel) . . . 1896
Odkrycie radu i polonu (Marja Skłodowska-Curie i Piotr Curie) . . . . . . . . . . . . . 1898
Wyjaśnienie zjawisk promieniotwórczości na podstawie teorji rozpadu (dezintegracji) pierwiastków (E. Rutherford i F. Soddy) 1903
Doświadczalne stwierdzenie przemiany pierwiastków chemicznych (Ramsay i Soddy obserwują powstawanie helu z emanacji radu) . 1904
Wykrycie izotopów neonu zapomocą prom. kanałowych (J. J. Thomson) 1912
Rutherforda-Bohra planetarny model atomu . . . . 1913
Bohra teorja seryj widmowych . . . . . . . . 1913
W. H. i W. L. Braggowie dają początek spektroskopji prom. Röntgena 1913
Van den Broek podaje myśl o związku pom. numerem porządkowym pierwiastka a ładunkiem jądra . . . . . . . . 1913
H. G. J. Moseley wykrywa związek pomiędzy numerem pierwiastka a jego widmem Röntgenowskiem . . . . . . . . 1913
Rozlokowanie pierwiastków promieniotwórczych w układzie perjodycznym na mocy prawa przesunięć (K. Fajans i F. Soddy) . . 1913
Wywołanie sztucznego rozpadu azotu (E. Rutherford) . . . 1919
F. W. Aston stwierdza, że ciężary atomowe dają się wyrazić zapomocą liczb całkowitych . . . . . . . . . . . . . 1919
De Broglie'a teorja sprzężenia fal z korpuskułami . . . 1924
W. Heisenberga mechanika kwantowa . . . . . . . 1925
E. Schrödingera mechanika undulacyjna . . . . . . 1926
Wykrycie fal de Broglie'a (Davisson i Germer) . . . 1927

## Skorowidz nazwisk.

**Liczby bite drukiem grubym** oznaczają **życiorysy** odnośnych **autorów**, liczby drukowane *kursywą — wyjątki z ich dzieł*, liczby zwykłe — wzmianki w tekście. Cyfry rzymskie oznaczają tomy wydawnictwa.


Abbe II. 295, 672.
Abraham H. II. 144.
Adam I. 253.
Adams II. 149, 541, 542.
Aepinus II. 14, **30**, 113.
Airy II. 394.
d'Alembert I. 133, 283, 344.
Aleksander z Aphrodisias II. 4.
Alexanderson II. 159.
Alkhazini I. 20.
Alt I. 229.
Amagat I. 204, 205.
Ames I. 268.
Amontons I. 184, 186, **197**, 199, 200, 204.
Ampère II. 11, 74, 75, **76—78**, *78—82*, 88, 90, 97, 101, 126, 127, 133, 489.
Anaksagoras I. 5.
Andrews I. 208, *209—219*, 219, 371, 373.
Angerer II. 358, 359.
Ångström II. 446.
Arago I. 111, 114, 123; II. 52, 74. 75, 76, 78, 88, 90, 97, **242—243**, 247, 298, 299, 300, 316, 317, 318.
Archimedes I. 6, **7—10**, *11—15*, 21, 36, 37, 41, 42, 56, 103, 104; II. 190.
Arkadjewa-Głagolewa A. II. 500—503.
Arkadjew W. II. 500.
Arrhenius II. **108**, 112.
d'Arsonval I. 144.
Arystarch I. 6, 10, 29.
Arystoteles I. 5, 6, 20, 21, 39, 41, 56, 102, 104, 121; II. 3.
Aston II. 569, 570, 571, 572, 594, 604.
Augustin II. 144.
Avenarius I. 344.

Bacon Francis I. 278; II. 7, 193.
Bacon Roger II. 193.
Balfour Stewart II. 606.
Balmer II. 641.
Banks II. 59.
Barlow I. 331; II. 82, 83.
Barkla C. G. II. 453, 475. 513.
Barnes I. 279.
Barrow I. 81, 82.
Bartholin II. 274.
Bartoli II. 429, 430, 431, 434, 435, 436, 437.
Bartoloni II. 50.
Bavink II. 670.
Beatti II. 632.
de la Bèche I. 130.
van Beck I. 123.
Becquerel E. II. 82, 83, 84, 122, **125**.
Becquerel H. II. 625, 632, 633, 634.
Beethoven I. 287.
Benjamin II. 20.
Bennett II. 51.
Bérard I. 251.
Bergen-Davis II. 474.
Bernoulli D. I. 104, 133, 151, 152, 255, 353; II. 30.
Bernoulli J. I. 255, 257.
Berthelot I. 207.
Berthollet I. 198, 202, **203**, 307.
Beudant I. 126, 127.
Berzelius II. 68.
Białobrzeski II. 639.
Biernacki II. 183.
Biot I. 126, 137, 152, 283; II. 74, 75, 76, 299, 303.
Bjerrum I. 412.
Black I. **231**, *231—233*, 234.
Blackett II. 603.
Blake II. 353.
Bloch II. 675.
Blondlot II. 144, 182.
Bodaszewski I. 397.
Boernhave I. 230, 231, 232.
Boguski II. 129.

Bohr Niels II. 381, 519, 639, 644, 646, **648—649**, 665, 666, 667, 668, 671, 673.
du Bois-Reymond I. 283, 285, 348.
Boltwood B. 596.
Boltzmann I. 341, 363, **375 — 376**, *376 — 381*, 388, 399; II. 120, 144, 435—437, 501, 502.
Bolyai 530, 536.
Bonhoeffer II. 669.
Born I. 341; II. 669.
Bowen II. 452, 483.
Bouguer I. 108.
Boyle I. 56, 82, **74—75**, 186, 193.
Boys II. 496.
Bradley II. 393.
Bragg W. H. II. **457**, 461, 513.
Bragg W. L. II. 456, 457, 513.
de Brahe Tycho I. 83; II. 235.
Branly II. 183.
Brasch II. 477.
Bravais I. 123.
Bréguet I. 152, 269.
Breit II. 478.
v. d. Broek II. 519, 587, 589, 591.
de Broglie L. II. 259, 382, 383, 385, 389, 666, 667.
de Broglie M. I. 413; II. 382, 469, 477, 479.
Brönsted II. 597.
Brown I. 392.
Brücke I. 283, 304.
Brunhes I. 339, 345.
Buckle I. 377.
Bunsen I. 224, 242; II. 448, 504—505, *505—512*.
Burton II. 482.
Byron I. 283.

Cabannes II. 356, 360.
Cagniard de la Tour I. *134—136*, 138, 139, 207, 208, 218.
Cailletet I. 219, 220, 223, 224, 225, 226.
Callendar I. 279.
Cameron II. 483, 485, 486, 487.
Campbell II. 93, 546.
Carnot H. I. 315.
Carnot S. M. I. **244—245**, *245—251*, 252, 256, 257, 258, 293, 297, 299, 306, 312, 313, 315, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 325, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 337, 338, 342, 343, 344, 345, 347, 398.
Cassini II. 235.
Cauchy I. 143.
Cavallo II. 61.
Cavendish I. **108**, *109—111;* II. 30, 31, 42, 113.
Celsius I. 184, 186, **189**, *189 — 192*, 193, 196, 198, 200.
Chadwick II. 590, 602.
Chant II. 545.
Chappuis I. 204.
Charles I. 184, **198**, 265.
Chaudesaigues I. 397, 415.
Chi-Sun-Yeh II. 353.
Chladni I. 137, 150, **152**, 153, 166.
Clausius I. 148, 222, 248, 315, 317, **320**, *321 — 329*, 330, 332 333, 334, 336, 337, 338, 339, 340, 347, 354, 355, 356, *358—361*, 363, 364, 367, 369, 370, 379, 388, 395, 398, 412, 424.
Clelland Mac II. 608.
Clément I. 251.
Clouet I. 206.
Colding I. 265.
Colladon I. *125—132*.
Compton II. 256, 257, 258, 361, 367, 368, 469, 472.
Compton i Simon II. 259, 367—369.
Comandon I. 413.
Condamine I. 108.
Cooke II. 482.
Coriolis I. 255, 300.
Cornu II. 144.
Coster II. 649.
Coulomb I. 111; II. 30, **30—32**, *32—42*, 133.
Crémieu II. 149, 150, 151.
Crookes II. 431, 551, **552**, 620.
Cullen I. 269.
Curie J. II. 625.
Curie M. II. 596.
Curie - Skłodowska M. II. 573, 575 577, 581, **623**—**625**, *625—635*.
Curie P. II. 573, **625—630**.

Dahl II. 478.
Dalibard II. 23.
Dalton I. 204, 247, 251, 266, 269.
Dancer I. 270.
Dannemann II. 27.
Danysz J. II. 624.
Darrow II. 675.
Darwin C. G. II. 513.
Darwin I. 247.
Dastre I. 283.
Dauvillier II. 469, 480, 481.
Davidson II. 545.
Davis II. 379.
Davisson i Germer II. 383, 384, 386, *387—390*.
Davy I. 244, 255, 256, 278, 307, II. **66**, 67, 68, 74, 83, 87, 88, 89, 96, 108.
Dąbrowski I. 412.
Debierne II. 575, 624.
Debray I. 223, 224, 226; II. 635.

Debye I. 341; II. 144, 148.
Deimann II. 66.
Delaroche I. 251.
Delor II. 23.
Demokryt I. 5, 6, 348, 353.
Dennison II. 669.
Desains II. 626, 629.
Descartes (Kartezjusz) I. **38—40**, 81, 84, 85, 121, 122, 123, 253. 296, 297, 348; II. 197, 205, 302.
Desormes I. 251.
Despretz I. 204, 244, 310.
Dewar I. 227, 229; II. 87.
Dickstein II. 132.
Dieterici I. 279.
Doan II. 472.
Dodwell II. 545.
Dominis de Marcus Antonius II. 205.
Donders I. 176.
Donny I. 372.
Dorsey II. 144.
Drion I. 207.
Drude II. 132.
Duane II. 182, 352, 353.
Du Bois Reymond II. 58.
Duddell II. 164.
Dufay II. 14, 29, 124, 430.
Dufour I. 281.
Duhamell I. 141.
Duhem I. 341, 346, 347, 348.
Dühring I. 285.
Dulong I. 151, 204, 244, 251, 279, 310, 327.
Dumas II. 88, 96.
Dunoyer I. 419, *420—423*.
Dyson II. 545.
Dziewulski E. I. 221.

Eddington II. 253, 405, 541, 545.
Eddy II. 435.
Edison II. 180.
Ehrenhaft II. 559, 564.
Eichenwald II. *149—151*, 154, 158.
Einstein I. 341, 384, 390, 394, 398, 401, 413, 414, 417; II. 251, 252, 256, 257, 337, 350, 353, 374, 397, 399, 402, 403, **421—422**, *423—428*, 527, 528. 536, 537, 538, 539, 540, 541, 543, 545.
Ellicot II. 158.
Elsasser II. 390.
Elster i Geitel II. **340—341**, 342, 346, 632, 633.
Empedokles I. 5; II. 4, 9.
Estermann I. 424.
Eucken II. 560, 669.
Euklides I. 6, 9, 42, 81; II. 530, 531.
Euler L. I. 124, 133, 152, 225; II. 289, 302, 430.
Exner I. 393, 394.

Fabry II. 144.
Fajans II. **592—593**, 596.
Fahrenheit I. 184, **186**, *187—188*, 191, 192 195, 196, 230.
Faraday I. 206, 207, 209, 268, 285, 288, 290, 314, 418; II. 42, 64, 66, 69, 74, 75, 78, 81, **86—96**, *96—108*, *112—125*, 127, 130, 131, 133, 134, 139, 142, 145, 148, 167, 175, 181, 183, 321, 322, 323, 324.
Favre I. 243, 278.
Feddersen II. 159, **160**, *160—164*, 169.
Ferdynand II I. 184.
Fermat I. 84; II. 543.
Filon z Byzancjum I. 183.
Fischer I. 229.
Fitz-Gerald II. 249, 252, 407.
Fizeau I. 111; II. 142, 148, 151, 243, 394, 395, 412.
Foote II. 379.
Forbes I. 278; II. 129.
Forch I. 242.
de Forest II. 164.
Fortrat II. 647.
Foucault I. **111 — 112**, *112 — 115;* II. 142, 243, 511.
Fourier I. 140, 165, 314, 315, 344.
Fowler II. 658.
Franck II. 376, 377, 379.
Franke I. 141.
Franklin I. 126; II. 15, **19—24**, *24—29*, 29, 30, 54.
Fraunhofer II. **444 — 445**, 446, 509.
Freitag II. 599.
Fresnel I. 304, 314; II, 132, 148, 151, 175, 240, 241, 247, **296—301**, *301—318*, 320, 396, 411, 430.
Friedel II. 478.
Friedrich II. 453, 455.
Friman II. 479.

Gaede I. 386.
Galileusz I. 6, 21, 38, 39, **40 — 44** *44—55*, 56, 57, 75, 84, 103, 104, 158, 183, 252, 254, 293, 343; II. 6, 200, 237.
Galvani II. **43—44**, *44—50*, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 65.
Garfield I. 317.
Gassendi I. 122, 353.
Gauss I. 143, 290, 363, 415; II. 77. 134, 530, 531, 532, 537.
Gay-Lussac I. 123, 184, 189, **198—199**, *199 — 204*, 205, 206, 247, 251, 264, 330; II. 88.
Geiger II. 565, 580, 588, 589.
Geitel ob. Elster i Geitel.
Gezechus I. 343.
Gibbs I. 341, 399.
Gibson II. 142.

Gilbert W. II. **6—10**, *10—12*.
Gilbert II. 71.
Gladstone II. 144.
Glazebrooke II. 607.
Głagolewa - Arkadjewa II. 500—503.
Goethe I. 280; II. 74.
Goldstein II. 551, 567.
Goucher II. 379.
Gouy I. 393.
s'Gravesande I. 230.
Gray II. 13, 16, 124.
Green I. 314; II. 134, 141.
Grimaldi II. 225, 297, 306.
Groszkowski II. 164.
Grotowski II. 559.
Grotrian II. 642.
Grotthus II. 68, 108.
Guericke I. 56, **65 — 66**, *66 — 74*; II. 13, 14, 15.
Guye II. 407.

Haas A. II. 675.
Hagenbach II. 641.
Halley I. 85, 196; II. 200.
Hallwachs II. 167, 340.
Hamilton I. 314; II. 667.
Harteck II. 669.
Hawksbee II. 14, 16.
Heisenberg II. 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674.
Helm I. 376.
Helmholtz H. I. 159, 160, *160—179*, 180. 222, 279, **280—292**, *293 — 311*, 313, 314, 315, 317, 318, 340, 341, 342, 343, 347, 348, 349, 380; II. 64, 92, 105, 132, 149, 159, 165, 166, 167, 168, 366, 559, 619.
Helmholtz K. I. 280.
Henri I. 413.
Henry I. 306; II. 632.
Herman I. 180.
Heron I. 6, **15**, *16—19*, 36, 120, 183.
Herschel K. II. 202.
Herschel W. II. **201—202.**
Hertz H. I. 290, 291, 348; II. 94, 131, 133, 147, 151, 158, **165—169**, *169—183*, 246, 254, *319—332*, 340, 499, 617, 618.
Hertz P. II. 376, 377, 379.
Hess I. 244.
Hess V. F. II. 483, 484, *520—525*.
Hevesy II. 597, 649.
Hiller II. 669.
Himstedt II. 106, **108**.
Hipparch I. 6, 29.
de la Hire I. 197.
Hirn I. 279, 294, 321, 342, 347.
Hittorff II. 144, 149, 150, 551.
Hjalmar II. 473, 478.
Hobbes II. 130.

van t'Hoff I. 341; II. 108, 112.
Holweck II. 441, 478, 481.
Homer I. 283.
Hönigschmid II. 596, 597.
Hooke I. 82, 84, 85; II. 291, 292, 293, 302.
Hopkinson II. 20.
Hoppe I. 183; II. 207.
Horowitz II. 596.
Howard II. 181.
Hubert II. 164.
Hudson II. 8.
Hull II. 409, 432.
Humboldt I. 123.
Hund II. 668.
Hunt II. 352.
Hutchinson II. 149, 150, 151, *152—155*.
Huygens I. 84, 94, 95, 103, 158, 159, 252, 253, 254, 293, 343; II. 198, 238, 239, 240, **260—265**, *265—286*, 302.

Ibn Al Haitam (Alhazen) II. 192, 197.
Iljin I. 391.
Izydor z Aleksandrji II. 3.

Jacobi I. 284.
Jacquerod I. 204, 229.
Jaeger I. 279.
Jallabert II. 16.
Janssen I. 371.
Jeans I. 388.
Jeżewski II. 122, 164.
Jolly I. 111, 204, 222 242.
Jordan II. 669.
Joule I. 227, 228, 265, **266**, 267, *268—278*, 279, 306, 308, 309, 311, 318, 319, 320, 321, 322, 330, 332, 335, 336, 347, 388.

Kammerlingh-Onnes I. 204, 221, **228**, 229, 390; II. 84.
Kant I. 235, 283, 348; II. 130.
Karmán I. 341.
Karpen II. 143.
Kartezjusz ob. Descartes.
Karpowicz II. 559.
Kaye II. 514.
Kayser II. 639.
Keesom I. 229, 390.
Kelvin lord (Thomson William) I. 219, 227, 228, 256, 257, 286, 288, **314—318**, 319, 320, 321, 322, *330—336*, 337, 338, 339 340, 347, 348, 385; II. 105, 126, 134, 139, 142, 159, 182, 632.
Kennedy II. 420.
Keppler I. 80, 81, 83, 84, 85, 92; II. 196, 302, 430.
Kerr II. 92.
Kikuchi II. 385.

Kinnersley II. 20.
Kirchhoff I. 317, 341, 344, 345; II. 64, 159, 448, **504—505**, *505—512*, 670.
Kirchner II. 385.
Kirsch II. 602, 603.
Kirwan II. 32.
Klemensiewicz I. 419.
Kleist II. 15, 21.
Knauer I. 424.
Knipping II. 453, 455.
Knudsen I. 367, 368.
Koenigsberger I. 281.
Kohlrausch II. 84, 108, 112, 138, 139, 324, 597.
Kolhörster II. 483, 484, 486, *525—526*.
Kolumb II. 5.
Konen II. 640.
Kopernik I. 21, **28—30**, *31—35*, 43, 80, 83, 85, 91, 101.
Kossakowski II. 623.
Kossel II. 660, 661.
Kotlar I. 343.
Kowalski-Wierusz II. 66.
Krönig I. *354—357*, 358, 362, 370.
Ktesibjusz I. 6.
Kuczyński I. 223.
Kundt I. 152 **153**, *153—157*, 223, 365, 386.

Lagrange I. **101—102**, *103—107*, 124. 133, 246, 283, 344.
de Lametherie II. 62.
Lane II. 14.
Lange II. 477.
Langevin I. 388, 415; II. 126, 404, 608.
Lantsberry II. 600.
Laplace I. 40, 80, 83, **98—99**, *99—101*, 124, 126, 234, **235**, *235—242*, 244, 283, 314, 415; II. 51, 74, 407.
Laue II. 453, 454.
Lavoisier I. 102, 206, 234, **235**, *235—242*, 244; II. 51.
Lavanchy II. 407.
Lebiediew II. 42, 409, *429—435*, 499.
Lecher II. 149, 181, 182.
Leduc I. 279.
Lehmann I. 393, 397.
Leibniz I. 10, 81, 121, 253, 254, 255, 259.
Lembert II. 596.
Lenard II. 341, 342, 343, 551.
Lennan Mac II. 450, 482.
Lenz II. 105, 126.
Leukipp I. 6, 353.
Leverrier II. 539.
Levi-Civita II. 533.
Liebig I. 259.
Lockyer Norman II. 621.
Lodge II. 181.
Longomontanus II. 430.
Lorentz I. 341; II. 132, 147, 148, 150, 151, 158, 167, 247, 248, 249, 250, 396, 407, 412, 529, 668.
Loschmidt I. 367, 368.
Lyman II. 451, 642.

Łobaczewski II. 530, 536.

Mach I. 231, 256, 257, 266, 294, 318, 319, 343, 344, 347, 394; II. 207, 670.
Machcewicz II. 164.
Mac Lennan ob. Lennan.
Magie I. 330.
Magnus I. 204, 222.
de Mairan II. 430.
Malassez II. 554.
Malus II. 241, 242, 243, 299.
Marcet I. 189.
Marconi II. 131, 183.
Mariotte I. 56, **75**, *76—79*, 133.
Mark II. 475.
Marsden II. 588, 589, 598, 600.
Martin I. 233.
van Marum I. 206.
Mascart I. 317.
Maskelyne I. 108, 111.
Massieu I. 341.
Maxwell I. 291, 339, 347, 349, 363, 364, 365, 366, 374, 379, 386, 387, 388, 395, 399, 415; II. 31, 78, 93, 104, 126, *127—128*, **129—133**, *133—144*, 145, 146, 147, 148, 149, 151, 158, 159, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 175, 181, 183, 245, 323, 429, 430, 431, 434, 435, 607.
Mayer J. R. I. 256, **258—259**, *260—264*, 265, 268, 284, 285, 292, 294, 295, 298, 311, 313, 343.
Meitner Liza II. 598, 599.
Melbourne II. 89.
Melloni I. 304; II. 489.
Mendelejew I. 308.
Mersenne I. 39, 122, 133.
Meyerson I. 235.
Michell I. 108, 109, 110.
Michelson II. 144, 248, 249, 397, *411—419*.
Miculescu I. 279.
Milicer II. 623.
Miller D. C. II. 419.
Miller I. 209.
Millikan I. 368, 383, 409, 419; II. 257, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 451, 452, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 559, **561**, 562, 563, 564, 565, 566.
Minkowski II. 536, 538.
Moll I. 123.
Monge I. 198, 206.

Montgolfier I. 256.
Mossotti II. 146, 147, 148, 150.
Morley II. *411—412.*
Moseley II. **462**, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 478, *513—519*, 587, 593.
Müller J. I. 283, 289.
Muschenbroek I. 231, 233; II. 15, 21.
Mysowski II. 483.

Napoleon I I. 235; II. 51.
Natanson W. I. 227, 341, 390; II. 240, 273, 552, 675.
Natterer I. 207, 209, 217, 389.
Necker II. 16.
Nernst I. 341; II. 64.
Neuburger I. 260.
Neumann II. 554.
Neumann F. I. 310.
Newcomb II. 144, 539, 540.
Newton I. 10, 21, 30, **80—86**, *86—98*, 108, 121, 122, 124, 126, 186, 190, 191, 192, 193, 231, 278; II. 30, 42, 127, 175, 206, 207, *208—232*, 239, 289, 290, 292, 293, 302, 303, 304, 336.
Nichols II. 409, 435, 492, 498, 499, 500.
Nicholson II. 651.
Niewęgłowski II. 631.
Nobili II. 75.
Noble I. 158, 159.
Nollet II. **16.**
Nordmayer I. 242.

Oersted II. **70—71**, *71—73*, 74, 75, 77, 78, 81, 90.
Ohm I. 140, 159, 164; II. 64, 82, **83—85.**
Olszewski I. 221, 223, **224**, *224—226*, 227, 228.
Ostwald I. 204, 259, 281, 345, 346, 376, 394; II. 64, 112, 671.

Palmer II. 353.
Pascal I. 37, 56, **57—59**, *59—65*, 123.
Paschen II. 657, 658, 668.
Pawłowski II. 599, 603.
Peltier I. 309; II. 64.
Pender II. 149, 150.
Perot II. 144.
Perrin I. 368, 384, 394, 395, 397, 398, **404—405**, *405—419;* II. 560, 616.
Perrotin II. 144.
Petit I. 204, 251.
Pettersson II. 602, 603.
Pfeffer II. 108.
Picard I. 82.
Pictet I. 131, 220, 224.
Pieńkowski II. 639.
Pigot I. 158, 159.
Pitagoras I. **120.**
Planck I. 341, 343; II. 255, 422, 670.
Platon II. 3.
Pliniusz Starszy II. 4.
Plücker II. 125, 448, 551.
Poggendorff I. 222, 259, 313; II. 83.
Poincaré H. I. 342, 399, 402; II. 145, 399, 631.
Poisson I. 115, 124, 125, 126, 143, 251, 327; II. 113, 241, 310.
Poncelet I. 256.
della Porta II. 194.
Pouillet I. 209; II. 76, 108.
Priestley II. 30, 51, 66.
Prout II. 570, 571, 621.
Ptolomeusz I. 6, 29, 34, 40, 43; II. 193.
Puccianti II. 472.
Puluj I. 279.

Quincke I. 222.
Quintus Icilius I. 279.

Raman II. 360, 369, 370, 371, 372, 373, 374.
Ramanathan II. 370, 371.
Rameau I. 159.
Ramsay I. 229; II. 575.
Ramsden II. 15.
Rankine I. 246, 315, 318, 342, 343, 344, 347.
Raoult II. 108.
Rayleigh I. 228, 390; II. 255, 357, 369, 607, 608.
Réaumur I. 184, 185, 190, **193**, *194—195*, 196, 197, 233.
Regener II. 565, 579.
Regnault I. 123, 124, 204, 208, 209, 228, 242, 314, 327, 330.
Reichenbach II. 670.
Rey I. 342, 345, 346.
Richard I. 314.
Richards II. 596.
Richmann I. 230; II. 23.
Riemann II. 530, 537.
Righi II. 181, 183, 499.
Ritter II. 66, 67, 448, 489.
Ritz II. 641, 664.
de la Rive II. 64, 74, 78, 182.
Roberval I. 103.
Robinson II. 578.
Römer II. 235, 236, 237, 238.
Röntgen II. 94, 149, 150, 151, *156—158.*
Rosa I. 243; II. 144.
Rousseau II. 76.
Rowland I. 243, 279; II. 94, 126, 138, 149, 150, **152**, *152—155*, 446, 447.
Royds II. 578, 579.
Rubens II. 144, 492, 494.
Rubinowicz II. 639.

Rudberg I. 204.
Rudzki I. 385.
Rumford I. 255, 256, 265, 278; II. 66.
Runge II. 668.
Rupp II. 387.
Rutherford II. 482, 519, 551, 565, 577, 578, 579, 580, 583, 584, 587, 589, 590, 592, 593, 598, 600, 601, 602, 603, 605, **608—609**, *609—614*, *632*, 633, 648, 649.
Rydberg II. 641, 657.

Sagnac II. 634.
Sagredo I. 183.
Saint-John II. 541, 542.
Sainte-Claire Deville I. 220.
Salvino degli Armati II. 199.
Sanctorius I. 183.
Sarasin II. 183.
SaundersII. 144.
Saussure I. 131, 203; II. 51.
Sauveur I. 133, 134, 137, 159.
Savart I. **136**, *137—140*, 141, 152, 153, 154; II. 74, 75, 76, 299.
Sawyer II. 452.
Schäfer II. 553.
Schiller I. 280.
Schmidt II. 632, 633.
Schrödinger II. 666, 667, 669, 670.
Schumann II. **449**, 450, 451.
Schuster II. 551, 553.
Schweigger II. 74, 75.
Schwerd II. 309.
Scott I. 180.
Searl II. 144.
Seebeck I. 140, 141, 152, 153; II. **74**.
Séguin I. 256, 347.
Siedentopf I. 390.
Siegbahn II. 469, 473, 479.
Siemens I. 291, 317.
Silbermann I. 243.
Silberstein II. 93.
Sing II. 20.
Skłodowska - Curie p. Curie - Skłodowska.
Slack II. 474.
Smoluchowski I. 364, 367, 377, 382, 383, **384 — 385**, *385 — 404*, 413. II. 356, 632.
Snellius II. 198.
Soddy II. 577, 592, 594, 597.
Sokrates II. 3.
Soldner II. 542, 543.
Sołtan II. 479, 480, 481.
Sommerfeld II. 658, 660, 665, 668.
Stallo I. 344, 349.
Steinwehr I. 243, 279.
Stefan I. 341.
Stern I. 419, *420—424*.
Stevin I. **35—37**, *37—38*, 56, 103, 104, 293.
Stokes I. 316, 317, 409; II. 396, 511. 561, 564.
Stoney Johnstone II. 559.
Strumpf I. 180.
Sturm I. *125—132*, 184.
Sutton-Henning I. 279.
Svedberg I. 391, 395, 401, 402.
Świętosławski I. 243.
Swan II. 509.
Symmer II. 14, 29, 30.
Szczeniowski II. 386, 387, 495.
Szilard II. 475.

Tait I. 316, 339; II. 132.
Tate II. 379.
Teofrast z Lesbos II. 3.
Tannery I. 253.
Taylor I. 133.
Tear II. 498, 499, 500.
Thales z Miletu II. 3.
Thibaud II. 387, 469, 472, 479, 480, 481.
Thilorier I. 207, 209, 214.
Thomson James I. 219, 288, 319.
Thomson J. J. I. 388; II. 144, 551, 552, 553, 561, 569, 583, 584, 587, **606—608**, *609—614*, *615—622*, 648.
Thomson W. ob. Kelvin.
Thompson II. 86.
Thoraeus II. 479.
Torricelli I. 44, **56—57**, 57, 75, 104, 123.
Townsend II. 561, 608.
Troost II. 631.
v. Troostwijk II. 66.
Trowbridge II. 182.
Turgot II. 23.
Tyndall I. 389, 390; II. 87, 115, 356.
Tuwim II. 483.
Tuve II. 478.

Ubaldi I. 42, 104.
Ure I. 269.

Vandermonde I. 198.
Varignon I. 104.
Vassalli II. 56.
da Vinci I. **21—24** *25—27*, 37, 39.
Violle I. 279.
Virchow I. 283.
Vitello II. 195, 196, 205.
Viviani I. 44, 56.
Volta I. 111, 282; II. 43, 44, **51—52**, *52—64*, 65, 66, 83, 88, 90.
Voltaire II. 23.

v. d. Waals I. 368, **369**, *370—374*.
Wagner E. II. 354.
Wall II. 15.
Wallis I. 84, 104, 254.
Warburg I. 243, 365, 386; II. 106.
Watson II. 20.
Watt I. 312.
Weber H. i W. I. **142**, *143—150*, 159.
Weber W. II. 76, 77, 138, 139, 142, 321, 324.
Webster II. 469, 662.
Werner II. 145.
Wertenstein I. 243; II. 624.
Wertheim I. 151, 152, 157.
Westgren II. 560.
Wheatstone II. 448.
Wiechert II. 554, 555.
Wiedemann I. 291, 317; II. 435.
Wien II. 164.
Wilke I. 233, 234, 242.
Willis I. 160.
Wilson II. 561.
Winkler II. 22.
Wirgiljusz I. 282.
Witkowski I. 126, 222, **227—228**, 384, II. 169.
Witruwjusz I. 6.
Wolfke I. 229; II. 122, 478, 672.
Wollaston I. 109, 137; II. 88.
Wood I. 422; II. 356, 494, 642, 647.
Wren I. 84, 254.
Wróblewski I. **221 — 224**, *224 — 226*, 227.

Young I. 257; II. 132, 141, 240, 244, 287—288, 306, 320.

Zakrzewski K. II. 273, 552.
Zamboni I. 293.
Zeeman I. 94.
Zermelo I. 394, 399, 402.
Znatowicz I. **221—222**,
Zöllner II. 431.
Zsigmondy I. 390.

## Skorowidz rzeczy

Znak: — oznacza powtórzenie wyrazów alfabetycznie uporządkowanych; gdy jeden lub dwa wyrazy są drukowane *kursywą*, znak: — oznacza powtórzenie **tylko tych wyrazów.**


Aberracja światła II. 393, 394.
Absorbcja światła II. 655; — promieni Röntgena II. 662, 663.
Adjabatyczne rozprężanie I. 219.
Akademja Nauk Francuska II. 14, 16, 23, 32.
Akord I. 139.
Akumulowanie elektryczności II. 67.
Akustyczne zjawiska I. 85.
Akustyka I. 119.
Alfa cząstki II. 578, 579, 580, 584—591, 592, 594, 595, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605.
*Alfa cząstek* odchylenie II. 587—591; — zderzenia II. 586.
Alkohol: zestalenie I. 224, 226.
Almagest I. 6, 29.
Amonjak: skroplenie I. 206.
Ampère'a: prawidło II. 74, 77, 80; — stolik II. 77; — teorja magnetyzmu II. 81, 101.
*Analiza* dźwięków I. 165, 172; — widmowa II. 448, 505—512; — wyższa I. 102, 120.
Analityczna mechanika I. 101, 102.
Anelektryczne ciała II. 9, 13, 46, 59.
Archimedesa zasada I. 8, 10.
Argon: temperatura krytyczna I. 228; temperatura krzepnięcia I. 229.
Astatyczne układy II. 74, 77.
Astronomja I. 100. 102.
Atmosfera elektryczna II. 14, 25, 53.
Atmosfery ciśnienie I. 99.
Atomistyczne teorje I. 5, 376, 384, 393.
*Atomowa* budowa materji I. 353, 383, 386; — budowa elektryczności I. 354, 383; II. 91, 559.
Atomowe promienie I. 419—424.
*Atomu* jądro II. 583 — masa I. 418; — mechanika II. 665; — model Bohra II. 648, 649; — model Rutherforda II. 583; — pęd I. 355; — rozpad naturalny II. 592—596; — rozpad sztuczny II. 597—605.
Atomy I. 353, 376, 405; II. 551, 559, 568, 573, 583, 592, 621, 639, 649, 665; — gazu I. 354; — elektryczności I. 354, 383; II. 91, 559.
*Avogadra* liczba I. 368, 395, 412, 417, 418; — prawo I. 357, 405.
Azot: skroplenie I. 221, 226; spółczynnik rozszerzalności I. 204; temperatura krytyczna I. 226; temperatura krzepnięcia I. 227, 229; wiązanie z powietrza II. 66; zestalenie I. 221.

Badań naukowych metoda I. 91—92; II. 42, 52, 127.
Balmera serja II. 641, 642, 654.
Barometr I. 57, 70, 76, 77.
Barwa dźwięków I. 161, 162, 170—180.
Barwy cienkich warstewek II. 289—293.
*Baterje* elektryczne II. 21, 59; — galwaniczne II. 61.
Bezwładność I. 25, 84; — elektryczności II. 166.
*Bezwodnik* siarkowy: skroplenie I. 206; spółczynnik rozszerzalności w stanie ciekłym I. 207; — węgla: skroplenie I. 209; ściśliwość I. 214; stała dielektryczna II. 145.
Bieguny magnetyczne II. 5, 9, 11, 12, 80, 101; — ziemi II. 9, 10.
Biot'a i Savart'a prawo II. 74, 75, 76.
Bloki I. 106.
Błękit nieba I. 390; II. 357.
Błyskawica: natura elektryczna II. 15, 21, 22.
Bohra model atomu II. 648, 649—664, 665— 666.
Bolometr II. 495.
Boyle'a i Mariotte'a prawo I. 74—79, 204, 205, 206, 265, 272, 273, 278, 353, 355, 356, 368.
Browna ruchy I. 382, 383, 384, 392—398, 401, 405—419; — w gazach I. 397; przesunięcia w — I. 395—397, 401, 413—417.
*Budowa* kryształów II. 461; — świata I. 99.

Bursztyn: elektryzowanie II. 3.
Burza: teorja elektryczna II. 22, 27.
*Busola* magnetyczna II. 4; — stycznych II. 76.
Butelka lejdejska II. 15, 21, 50, 53, 55, 115.

Całkowy rachunek I. 99, 102.
*Carnota* cykl I. 247—249, 325—329, 336, 337, 338; — funkcja I. 251, 313, 329, 337; — twierdzenie 244—252, 312; — — sformułowane przez Carnota I. 251; przez Thomsona I. 332—334, 337.
Chemiczna teorja ogniw II. 64, 65, 91.
Chemiczne działanie elektryczności II. 65—67.
Chladniego figury I. 144, 152, 153, 166.
Chlor: skroplenie I. 209.
*Chlorek* cynawy, elektroliza I. 106; — złota, elektroliza I. 108.
Chmury siedliskiem elektryczności II. 22, 23, 26, 27.
Ciała radjoaktywne II. 573 — 578, 631—635.
*Ciał* masa I. 87, 100, 108; — przyśpieszenie I. 84; — spadanie I. 6, 25, 42, 43, 45, 85, 96; — zanurzonych równowaga I. 5.
Ciągłość stanu ciekłego i gazowego I. 216, 218, 369—374.
Ciążenie powszechne I. 82, 83, 84, 85, 86, 87, 98, 100, 101.
*Ciemnia* Faradaya II. 91; — optyczna II. 193.
Cieczy ruch I. 102.
Cieplik I. 235, 306; — zasada zachowania I. 255, 256, 257.
*Ciepła* jednostka I. 234, 243; — pojemność I. 232—233; — pomiar kalorymetryczny I. 234. 239—240; — równoważnik mechaniczny I. 257, 264, 268, 273, 276, 278, 279, 306, 309, 330; — równoważność z pracą I. 256, 259, 262, 263, 266, 267, 323, 332; — teorja cieplikowa I. 235, 306; — teorja kinetyczna I. 353; —teorje mechaniczne I. 236, 257, 278, 284, 306, 323, 354, 377.
*Ciepło* atomowe I. 341; — drobinowe I. 357; — łączne I. 323—324; — reakcji I. 267; — swobodne I. 237—238, 308, 324; — utajone I. 208, 233—234, 241, 308, 312, 324, 329; — uwolnione I. 238; — właściwe I. 234, 237—240; — właściwe gazów I. 124, 151, 264, 357; — związane I. 238.
Cienkich warstewek barwy II. 289—293.
Ciężkości siła I. 88, 89, 94, 95, 96.
*Ciśnienia* rozkład w polu grawitacyjnem I. 406; — teorja kinetyczna I. 353, 354, 356, 358, 370, 377.
*Ciśnienie* atmosfery I. 99; — osmotyczne I. 405; — powietrza I. 60, 73; — światła II. 42, 409, 429—437.
Comptona zjawisko II. 354, 355, 361—367, 369, 672, 674.
Coolidge'a rura II. 476.
Coulomba prawo II. 31, 32—42.
*Cykl* Carnota I. 247—249; — Picteta I. 220—221; — Poincaré-Zermelo I. 359, 402.
*Czas* powrotu zjawisk mikroskopowych i makroskopowych I. 399, 403; — przepołowienia II. 578.
*Czasu* jednostka I. 4, 5; — mierzenie II. 402, 406.
*Cząstek* α odchylenie II. 583—591; — zderzenie II. 586.
Cząstki α II. 578, 579, 580, 584—591, 592, 594, 595, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605.
Częstość drgań głosowych I. 120. 133—141.
Czynniki natężenia i pojemności w wyrażeniu energji I. 345.

Dalekość bicia iskry II. 27.
Davy'ego lampa II. 66.
Degradacja energji I. 377, 378.
Deklinacja magnetyczna, ob. Zboczenie magnetyczne.
Detektor fal elektromagnetycznych II. 170, 176, 183.
Determinizm I. 386, 387; II. 671—674.
Dezintegracja atomów II. 577, 592—605.
Diamagnetyzm II. 92, 124, 125, 126.
Dielektryczna polaryzacja II. 121, 122, 133—136, 145—148, 150, 156—158, 168.
Dielektryki II. 91, 114, 135; — w ruchu II. 147, 151, 156—158, 167; — teorje II. 146—148, 151, 156, 167.
Długość fali I. 145, 151.
Długości jednostka I. 5.
Dośrodkowa siła I. 83, 85, 87, 88, 89, 93, 94, 96.
*Doświadczenie* Fizeau II. 394—395; — Michelsona II. 411—420; — Rowlanda II. 152—155.
*Drgania* elektryczne II. 160—164, 165, 169, 176; — głosowe I. 120, 134, 161; — harmoniczne proste I. 140, 164; — kołowe cząstek wody I. 146; — kamertonów I. 133; — piszczałek I. 133; — prętów I. 133; — prętów podłużne I. 152, 156;—strun

I. 102, 120, 133; — własne I. 166; — złożone I. 140, 164.
*Drgań* częstość I. 120, 133 — 141; — rejestrowanie I. 141; — zanikanie I. 170.
Drobiny I. 353, 355, 405.
*Drobin* droga swobodna I. 364, 367, 368; — promień I. 367, 369, 412; — objętość I. 367, 368; — prędkość I. 359, 360, 361, 362, 363, 367, 387, 393, 423.
Drobinowe siły I. 358—389.
Droga swobodna drobin I. 364, 367, 368.
Dudnienia I. 133.
Dwutlenek węgla, p. Bezwodnik węglowy.
*Dyfrakcja* elektronów II. 384—390; — promieni Röntgena II. 453—459; — światła II. 227, 228, 229, 240, 241, 297, 301—316.
Dynamiki zasady I. 80, 84.
Dysonans I. 159.
*Dyssocjacja* elektrolitów II. 111; — pary jodu II. 640.
*Działanie* na odległość II. 113, 134, 142; — ostrzy II. 14, 18, 22; — poprzez ośrodek II. 112—115, 117, 121, 131, 133, 134, 142, 167.
Dźwięki I. 160; — muzyczne I. 160; — piszczałek I. 143; — płyt I. 143, 150, 167; — strun I. 143; — złożone 140.
*Dźwięków* analiza I. 165, 172; — barwa I. 161, 162, 170—180; — granica słyszalności I. 137; — harmonja I. 120, 159; — natężenie I. 161; — wysokość I. 120, 133, 137, 161.
Dźwiękowe figury I. 144, 152, 153, 166.
Dźwignia I. 3, 5, 9, 10, 11, 12, 102, 103, 104, 105.

Einsteina wzór II. 337.
Ekwipartycja energji I. 395.
Elektrodynamika II. 74, 77, 78—82, 166; — prawo zasadnicze II. 77, 79.
Elektrofor II. 51.
*Elektrolitów* roztwory II. 111; — dyssocjacja II. 111.
Elektrolity II. 64, 106—112.
Elektroliza II. 65, 90, 106—112; — chlorku cynawego II. 106; — chlorku złota II. 108; — ciał stałych II. 106; — kwasu siarkowego II. 108, 111; — ługu potasowego II. 67; — roztworów wodnych II. 67, 105; — wody II. 65, 67.
*Elektrolizy* prawa II. 91, 105, 107—108; — teorje II. 68, 91, 108—112, 113.
Elektromagnesy II. 74, 81, 122.
*Elektromagnetyczna* indukcja II. 97—105; — teorja światła II. 131, 132, 140—145, 245—247, 319—332.
*Elektromagnetyczne* fale II. 93, 131, 133, 142, 159, 171—183; — fale stojące II. 173—178, 182; — jednostki II. 137; — pole II. 132, 133, 142.
*Elektromagnetycznych fal* prędkość II. 182; — rozchodzenie się wzdłuż drutów II. 181, 182; — wykrywanie II. 170, 176, 183.
Elektronu ładunek I. 418.
Elektrony II. 129, 551—558, 559.
*Elektronów* dyfrakcja II. 384—390; — rozmiary II. 673.
Elektronowa teorja II. 247, 668; — dielektryków II. 147, 151, 167.
Elektrooptyczne zjawiska II. 92, 94.
Elektroskop II. 9, 51.
*Elektrostatyczne* jednostki I. 142; II. 137; — indukcja II. 14, 91, 112.
*Elektryczna* atmosfera II. 14, 25, 53; — endosmoza I. 385; — energja II. 134, 135, 141; — indukcja II. 112—115; — iskra II. 15, 21, 22, 27, 104, 160—164.
*Elektryczne* baterje II. 21, 59; — drgania II. 160—164, 165, 169, 176; — fluidy II. 20, 24, 29; — ładunki (naboje) II. 29, 136; — maszyny II. 13, 14; — naboje, ob. ładunki; — napięcia II. 62, 64; — ogniwa, ob. Ogniwa galwaniczne; — prądy ob. Prądy elektryczne; — pole II. 16; — promienie II. 176—181; — siły II. 9, 12, 13, 30, 33, 35, 39, 44; — świecenie II. 15; — wyładowania II. 15, 27; — wypływy II. 3, 9, 16.
*Elektryczność* dodatnia i ujemna II. 14, 25, 29; — różnego pochodzenia II. 90, 105; — z chmur II. 22, 23, 26, 27; — zwierzęca II. 44, 49, 50, 54, 57, 59.
*Elektryczności* akumulacja II. 67; — atomy II. 29; — bezwładność II. 166; — budowa atomowa I. 354, 383; — jednostki II. 137; — przewodzenie II. 13, 27, 46, 90; — przyciąganie i odpychanie II. 9, 12, 13, 30; — teorje II. 3, 9, 16, 20, 21, 24, 29, 33, 34.
*Elektryczny* kondensator II. 21, 51, 136; — konflikt II. 71—73; — ogień II. 22; — opór II. 63, 84; — rezonans II. 170, 176.
*Elektryzowanie* przez indukcję II. 14, 91; — przez pocieranie II. 3, 25; — przez zetknięcie II. 52, 53, 57, 62, 64, 65, 68.
Elipsy kreślenie II. 129.
Emanacja radu II. 575, 576.

Emisyjna teorja światła I. 82, 85; II. 230, 231, 239—240, 243, 301—305.
Empiryzm naukowy II. 7.
Emulsje, p. Zawiesiny.
Endosmoza elektryczna I. 385.
Energetyczne poziomy II. 654, 662.
Energetyka I. 342, 345, 376.
Energja II. 168; — chemiczna I. 304. 308, 335 — 336; — elektryczna I. 309—310; II. 134, 135, 141; — kinetyczna I. 356, 376; — magnetyczna I. 310; — potencjalna I. 301, 302—304, 343; — prądu elektrycznego I. 267 — 268; — przydatna I. 339; — ruchu I. 252—255, 299, 300, 301, 303, 304, 343; — ruchu drobinowego I. 395; — słońca I. 381; — światła II. 141;—wewnętrzna I. 339.
*Energji* degradacja I. 377, 378; — masa II. 408—410; — nazwa I. 257; — określenie I. 342; — przemienność I. 378, 380; — rozkład I. 371, 378, 380; — rozpraszanie I. 339, 340; — wartość I. 339—340; — zasada zachowania I. 256—265, 301—311, 332, 335—336, 339, 343, 376; II. 64, 65, 91, 105
Entropja I. 338, 339, 375, 379, 381 400.
Eter powszechny II. 93, 140, 142, 238, 245, 247, 252—254, 268, 269, 270, 424.
Etylen: stała dielektryczna II. 145.

Fale I. 143—150; — de Broglie'a II. 259, 382—390, 666; — elektromagnetyczne II. 93, 131, 133, 142, 159, 171—183, 246, 319—332; — głosowe I. 121, 153; — materji, p. fale de Broglie'a; — na wodzie I. 145—147;—stojące I. 136, 143—145, 148—151, 153—157; II. 173—178, 182; — w cieczach I. 148; — w piszczałkach I. 136, 151.
*Fali* długość I. 145, 151; — odbicie I. 144; — postać I. 163; — uspakajanie zapomocą oliwy I. 143; — węzły I. 145, 155, 158, 166.
Falowa teorja światła I. 82; II. 227, 228, 229, 238, 239, 241, 243, 244, 245, 254, 259, 267, 268, 272, 281, 282, 287, 289, 292, 297, 298, 299, 302, 303, 305 320, 335.
*Faraday'a* ciemnia I. 91; — klatka I. 115; — prawa elektrolizy II. 91, 105, 108—112, 553; — prawa indukcji elektromagnetycznej II. 94, 103—105; — stała I. 418; — teorja elektryczności II. 9 112, 115, 131, 167, 175.

Ferromagnetyzm II. 127.
Figury dźwiękowe I. 144, 152, 153, 166.
*Fizyka* matematyczna I. 6, 10, 84; — perypatetyczna I. 44, 49, 75 Polsce I. 385.
Fluidy elektryczne II. 20, 24,
Fluktuacje termodynamiczne 383, 384, 385, 387—392, 41—
Fluxyj rachunek I. 81, 121.
Fonograf I. 180.
Formanty I. 180.
Fotoelektryczne zjawisko II. 256—257, 339—350.
Fouriera twierdzenie I. 165.
Fowlera serja II. 657.
*Franklina* latawiec II. 26; — teorja elektryczności II. 20, 21, 24—25, 29.
Fraunhofera linij przesunięcie względnościowe II. 540—542.
Funkcja Carnota I. 251, 313, 329, 337.
Funkcyj teorja I. 102.

Galileusza zasada względności II. 398.
*Galwaniczne* ogniwa ob. Ogniwa galwaniczne; — prądy ob. Prądy elektryczne
Galwanizm II. 44.
Galwanometr II. 75, 104.
Gaz a para I. 218, 373.
*Gazów* ciepło właściwe I. 264, 357; — izotermy I. 371, 373; — jonizacja II. 551, 574, 609—614; — rozprężliwość I. 205; — rozszerzalność I. 199—204, 208; — skraplanie I. 206 — 209; II. 188; — stała dielektryczna I. 375; — spółczynnik załamania światła I. 375; — tarcie wewnętrzne I. 365; — teorja kinetyczna I. 353, 354—369, 370, 377, 386, 420.
*Gazy* doskonałe I. 371; — jedno i wieloatomowe I. 357; — silnie rozrzedzone I. 366, 386; ciągłość stanu gazowego i ciekłego I. 216, 218, 369, 370—374.
Genealogja pierwiastków promieniotwórczych II. 582.
Geocentryczny system I. 82.
Geodetyczna linja II. 540, 543.
*Geometrja* analityczna I. 121; — Euklidesa II. 530, 531, 534; — nieeuklidesowa II. 530—534; — wielowymiarowa II. 534, 535, 536.
Geometrje niewyobrażalne II. 534—537.
Gęstość ziemi I. 109.
Głos ludzki I. 172.
*Głosu* fale I. 120, 134, 161; — odbicie I. 129; — prędkość I. 122—132,

151 — 157; — prędkość w ciałach stałych I. 125, 152, 155, 157;—prędkość w cieczach I. 125—132, 151; — w gazach I. 155; — w powietrzu I. 121, 122, 124; — prędkość mierzona pośrednio I. 125, 151—157; — prędkości wzory I. 121, 124, 126; — przewodzenie I. 120.
Góry magnetyczne II. 4.
Granic metoda I. 85.
Granice słyszalności dźwięków I. 137
Grawitacja I. 82, 85.
Grawitacji teorja II. 527—538.

Harmonja dźwięków I. 120, 159.
*Harmoniczne* drgania I. 140, 164;—tony 168—170, 174—180.
Heisenberga zasada II. 671—674.
Hel II. 575, 576.
*Helu* odmiany alotropowe I. 229; II. 122; — skroplenie I. 228; stała dielektryczna II. 122; — temperatura krytyczna I. 228; — temperatura krzepnięcia I. 229; — widmo II. 644, 645, 646, 656—658; — własności w stanie ciekłym I. 229; II. 122; — zestalenie I. 229; — zjawsko Joule'a i Thomsona I. 228. I. 228.
Heliocentryczny system I. 6.
Hydrostatyczna waga I. 20.
Hydrostatvka I. 85.
Hydrostatyki prawa I. 8, 10.

Idioelektryczne ciała II. 46.
Ilość ruchu I. 87, 90.
Indeterminizm naukowy I. 386; II. 671—674.
*Indukcja* elektrostatyczna II. 14, 91, 112; — elektryczna II. 112, 115; — magnetyczna II. 9, 104, 126; — prądów elektrycznych II. 75, 90, 96, 97—105, 170; — własna ob. Samoindukcja; — właściwa ob. Stała dielektryczna.
*Indukcyjny* płyn II. 146; — prąd II. 75, 90, 96, 105, 170.
Inklinacja magnetyczna ob. Nachylenie magnetyczne.
Instytut Królewski II. 67, 87, 90.
Instrumenty muzyczne I. 119, 166, 170, 172, 174.
*Interferencja* promieni Röntgena II. 453—459; — promieni spolaryzowanych II. 316—318; — światła II. 240, 290—295.
*Interferometr* Boltzmanna II. 501, 502; — Michelsona II. 412—418.
Iskiernik II. 162, 169, 170, 176, 181, 183.
Iskra elektryczna II. 15, 21, 22, 104, 160—164; charakter oscylacyjny II. 163; dalekość bicia II. 27.
Izolatory II. 13, 46, 59.
*Izotermy* gazów I. 214, 371; — krytyczne I. 215, 373.
Izotopy II. 569, 572, 593—597.

Jamy ustnej rezonans I. 158.
J-dra atomu ładunek II. 519, 590, 591
Jądro atomu II. 583—591, 604.
*Jednostajny ruch* prostolinjowy I. 87, 88, 89; — po kole I. 95.
*Jednostka* czasu I. 4, 5; — długości I. 5; — masy I. 5.
*Jednostek elektrycznych* układy II. 76, 137; — stosunek II. 137, 138—140, 142.
Jonizacja gazów II. 551, 574, 609—614.
Jonizacyjny potencjał II. 655.
Jony elektrolityczne II. 29, 68.
*Jonów* ruchliwość II. 110;—wędrówka II. 68, 108—110.
Joule'a i Thomsona zjawisko I. 227—265; — w wodorze I. 227; — w helu II. 228.

*Kalorymetr* adjabatyczny I. 243; — izotermiczny I. 242; — lodowy I. 234, 239—240, 242; — różnicowy I. 243; — wodny I. 234, 242.
Kalorymetrja I. 230—243.
Kamertony, p. Widełki strojowe.
Kaskadowa metoda skraplania gazów I. 226.
Katodowe promienie II. 551—558.
Katoptryka Archimedesa II. 190.
Katoptryczne teleskopy II. 200—202.
Kerra zjawiska II. 92.
*Kinetyczna teorja* gazów I. 353, 354—369, 370, 377, 386, 420; II. 130; — materji I. 354, 386.
Klatka Faraday'a II. 115.
Koercja magnetyczna II. 32.
Koherer II. 183.
Koło Savarta I. 136, 138.
Kołowy ruch I. 84.
Kondensator elektryczny II. 21, 51, 136; — Mościckiego II. 67.
Konflikt elektryczny II. 71—73.
Konsonans II. 159.
Kontaktowa teorja ogniw II. 64.
Kontrakcja Lorentza (Fitz-Geralda) II. 249, 250.
Konwekcyjne prądy elektryczne II. 94, 148, 152—155.
Kopernikański system I. 10, 43.
Koryto falowe I. 146.
Kres widma röntgenowskiego II. 350—354.

Krypton: temperatura krytyczna I. 229; temperatura krzepnięcia I. 229. 229.
Kryształów budowa II. 461.
Krzywe magnetyczne, p. Linje pól magnetycznych.
Krzywolinjowy ruch I. 84.
Ksenon: temperatura krytyczna I. 228; temperatura krzepnięcia I. 229.
Księżyc I. 88.
Kundta figury I. 153.
*Kwantowy* warunek mechaniczny II. 651, 664; — warunek optyczny II. 650, 664.
Kwanty II. 254—259, 335—381, 442, 650, 663.

Laboratorjum Cavendisha II. 606—609.
Lampa Davy'ego II. 66.
Latarnia czarnoksięska II. 194—195.
Latawiec Franklina II. 26.
Lenza prawidło prądów indukowanych II. 105, 126.
Lewar I. 15, 18, 72.
Liczba Loschmidta I. 367, 368.
Linja geodetyczna II. 540, 543.
Linje pól elektrycznych i magnetycznych II. 93, 94, 101, 103, 121, 125.
Loschmidta liczba I. 367, 368.
Lunety II. 199—200.
Lynkurion II. 3.

*Ładunek* (nabój) elektryczny II 29;— bezwzględny II. 114; — elementarny I. 418; II. 559—566.
Ług potasowy, elektroliza 67.
Łuk Volty 66, 74.

Machiny proste I. 4, 10, 18, 39, 103.
Magnesy II. 3, 8; — elementarne II. 31, 32, 81, 126; — naturalne II. 3.
*Magnesów* astatyczne układy II. 74. 77; — dzielenie II. 12; — wskazywanie stron-świata II. 4, 11.
*Magnesowanie* prądem elektrycznym II. 81; — przez indukcję II. 9; — przez zetknięcie II. 3.
Magnetoelektryczne maszyny II. 90.
*Magnetyczna* indukcja II. 104, 126;— koercja II. 32; — pozostałość II. 3; — waga II. 40; — zdolność II. 93, 126, 143.
*Magnetyczne* bieguny II. 5, 9, 11, 12, 80, 101; — działanie prądu elektrycznego II. 70, 72, 74; — góry II. 4; — mapy II. 9; — nachylenie (inklinacja) II. 8, 9; — pole II. 16; — siły I. 87; II. 11, 14; — własności ciał II. 122—126; — własności żelaza II. 3, 4, 9, 11; — wypływy II. 4, 9; — zboczenie (deklinacja) II. 5.
*Magnetyzm* rotacyjny II. 75; — ziemski II. 5, 8, 9, 10, 77, 80, 93.
*Magnetyzmu* powszechność II. 92, 122—125; — teorje II. 4, 9, 30, 31, 32, 81, 101, 126.
*Makroskopowe i mikroskopowe* stany I. 399 — 400, 401; ich czas powrotu I. 399, 403; — zjawiska I. 363, 387.
Mapy magnetyczne II. 9.
Mariotte'a prawo, p. Boyle'a i Mariotte'a prawo.
*Masa* ciał I. 87, 100, 108; — energji II. 408—410; — ziemi I. 108.
*Masy* jednostka I. 5; — zmienność II. 406, 407, 408.
*Maszyny* elektryczne II. 13, 14; — magnetoelektryczne II. 90.
Matematyczna fizyka I. 6.
Materjalne promienie I. 420.
Materji budowa I. 353, 383, 386.
*Maxwell'a* prawo rozkładu prędkości I. 359, 362, 369, 379; — teorja elektryczności II. 129—144, 167, 169, 175. 182, 324, 325, 326, 329.
*Mechanika* analityczna I. 101, 102; — atomu II. 665—675; — nieba I. 99;— statystyczna I. 399, 404; — undulacyjna II. 667.
Mechaniki zasady II. 168.
*Mechaniczne teorje* ciepła I. 236, 257, 278, 284, 306, 323, 354, 377; — elektryczności II. 133, 134.
Merkury (ruch peryhelu) II. 539.
*Metoda* badań fizycznych II. 42, 52. 127; — granic I. 85; — wahań II. 39; — Wilsona II. 259, 365—367, 674.
Metryczny system I. 99, 102.
Mgławic teorja I. 99.
Mikroskop II. 199.
*Mikroskopowe i makroskopowe* stany I. 399—400, 401; ich czas powrotu I. 399, 403; — zjawiska I. 363, 387.
Mikroskopu zdolność rozpoznawcza II. 295, 672.
*Model* atomu II. 583; — Bohra II. 648, 649—664; — Rutherforda II. 583.
Molekularne, p. Drobinowe.
Molekuły, p. Drobiny.
Momentów zasada I. 103.
Monochord I. 120, 122, 133.
Monocykliczne układy I. 349.
Moseley'a prawo II. 464, 466, 467, 468, 664.

Multyplikator II. 74, 75.
Muzyczne instrumenty I. 119, 166, 170, 172. 174.

Nabój, p. Ładunek.
Nachylenie magnetyczne (inklinacja) II. 8, 9.
Nadprzewodnictwo II. 85.
*Napięcie* elektryczne II. 62, 64; — linij pola II. 121, 134; — spadek wzdłuż przewodu II. 84.
Narzędzia muzyczne, p. Instrumenty muzyczne.
*Natężenie* dźwięków I. 161; — pola II. 126, 136; — prądu elektrycznego II. 82, 83.
*Naturalne* promienie *H* II. 598, 599, 600; — przemiany pierwiastków II. 575, 576, 592—597.
Natury badania prawidła I. 91—92.
Neon: temperatura krytyczna I. 228; temperatura krzepnięcia I. 229.
Newtona pierścienie II. 222—224.
Nieba mechanika I. 99.
Nieodwracalne i odwracalne zjawiska I. 248, 380, 402, 403.
Niewyznaczalności zasada II. 671 — 674.

*Obrotowy* ruch I. 87, 89; — ruch ziemi I. 111.
Odbicie fal I. 144.
*Odchylenie* cząstek α przez materję II. 584, 585, 587—591; — od wartości przeciętnych I. 388, 391; — promieni katodowych w polu elektrycznem II. 556—557, 617, 618; — promieni katodowych w polu magnetycznem II. 555, 556, 619, 620;— promieni świetlnych w polu grawitacyjnem II. 542—546.
Oddźwięk, p. Rezonans.
Odśrodkowa siła I. 5, 84.
Odwracalne i nieodwracalne zjawiska I. 248, 380, 402, 403.
Ogniwa galwaniczne II. 51, 60;—Volty II. 61; — wtórne II. 67.
*Ogniw galwanicznych* zmęczenie II. 67; — teorja chemiczna II. 64, 65, 91; — teorja kontaktowa II. 64; — źródło napięcia II. 64.
*Ohma* prawo akustyczne I. 140, 163, 164; — prawo oporu II. 64, 83—85.
Okres drgań elektrycznych II. 159, 160, 169.
Okresowe ruchy I. 162.
Opalescencja w punkcie krytycznym I. 383, 384, 391.
*Opór* elektryczny II. 63, 84; — graniczny obwodu drgającego II. 159, 161, 163; — powietrza I. 88, 89; — elektryczny w zależności od temperatury II. 84.
Ortohel II. 668.
Ortowodór II. 669.
Oscylacje, ob. Drgania.
Oscylator elektryczny II. 170, 176, 181, 182.
Ostrzy działanie rozbrajające II. 14, 18, 22.

Par rozszerzalność I. 199—204.
Para a gaz I. 218, 273.
Parafiny stała dielektrvczna II. 144.
Parahel II. 668.
Parawodór II. 669.
Parowania ciepło I. 312, 329.
Parowanie w/g teorji kinetycznej I. 359.
Pasmowe widma II. 640.
Peltier'a zjawisko II. 65.
Perjodyczny układ pierwiastków II. 464, 465, 466, 467, 515, 518, 519, 587, 590, 591, 593, 594, 595.
Perpetuum mobile I. 250, 253, 293—300, 340.
Peryhelu Merkurego ruch II. 539 — 540.
Perypatetyczna fizyka I. 44, 49, 75.
Pęd atomów I. 355.
Pictet'a cykl I. 220—221.
*Pierścienie* Newtona II. 222—224; — Saturna II. 130.
Piorunochron II. 22, 27.
*Piszczałek* drgania I. 133, 136, 151; — dźwięki I. 143.
Piszczałki stroikowe I. 172.
Plancka stała II. 335, 337, 351—380, 381, 673.
Płaszczyzny polaryzacji skręcenie magnetyczne II. 92, 322.
Płomienia działanie rozbrajające II. 9, 51.
Płyn indukcyjny II. 146.
Płyty dźwięczące I. 143, 150, 167.
Pneumatyka I. 15, 16.
Pociski I. 89.
Podczerwona część widma II. 489—499.
Poincaré - Zermelo cykl I. 399, 402.
*Pojemność* cieplna I. 230—233;—elektryczna II. 120.
*Pola* elektryczne II. 93, 136;—elektromagnetyczne II. 132, 133, 142;—magnetyczne II. 9; — prądu II. 70, 74, 75; — linje II. 93, 94, 101, 103, 121, 125; — natężenie II. 126, 136; — prędkość rozchodzenia się II. 138, 142, 175; — równania II. 142, 166.

*Polaryzacja* chromatyczna II. 243; — dielektryczna II. 121, 122, 135, 145, 147, 148, 150, 156, 158, 167; — światła II. 241—244, 285—286, 316—318; — promieni Röntgena II. 475—476.
Polaryzacyjne prądy II. 94, 147, 150, 151, 156.
Polon II. 573, 575, 577.
Pompa wodna I. 15.
Postępowy ruch I. 89.
*Potencjał* jonizacyjny II. 380, 655; — rezonansowy II. 380, 655.
*Powietrza* ciśnienie I. 60, 73; — opór I. 88, 89; — spółczynnik rozszerzalności I. 198, 204; — stała dielektryczna II. 145; — zgęszczanie i rozprężanie I. 264—265, 268—278
Powietrzna śruba I. 27.
Powietrzny termometr I. 42.
Powszechne ciążenie I. 82, 83, 84, 85, 86, 87, 98, 100, 101.
Poziomy energetyczne II. 655, 662.
Pozostałość magnetyczna II. 3.
Praca wewnętrzna i zewnętrzna I. 324—325.
*Pracy* jednostka Carnot'a I. 258; — i ciepła równoważność I. 256, 257, 259—265, 266—278, 279, 309, 323—324, 330, 332; — nazwy wprowadzenie I. 256; — przygotowanej zasada I. 102, 104, 105; — zachowania zasada ı. 101, 105.
*Prawidło* Ampère'a II. 74, 77, 80; — Lenza II. 105, 126.
*Prawa* elektrolizy Faraday'a II. 91, 105, 108—112, 553; — fizyki I. 363, 381; — hydrostatyki I. 8, 10; — ruchu I. 84, 89—90, 91; — stanu gazowego w zastosowaniu do zawiesin I. 405—417.
Prawdopodobieństwa teorja I. 99.
Prawdopodobieństwo I. 363, 364, 375, 378, 387, 388; — rozkładu energji I. 371, 378, 380; — stanu I. 375, 387, 400.
*Prawo* bezwładności I. 84; — Boyle'a-Mariotte'a I. 75—79, 204, 205, 206, 265, 272, 273, 278, 353, 355, 356, 358; — Biot'a i Savart'a II. 74, 75, 76; — Coulomb'a II. 31, 35, 39, 41; — Gay-Lussac'a I. 199 — 204, 205; — indukcji elektromagnetycznej Faraday'a II. 94, 103—105; — kolejności II. 659; — Maxwell'a rozkładu prędkości I. 359, 362, 363, 379;—Moseley'a II. 464, 466, 664;— Ohma akustyczne I. 140, 163, 164;— Ohma (oporów) II. 64, 83—85; — przypadku I. 363, 415;—przesunięć (w ruchu Browna) I. 396, 401, 415;— przesunięć (w układzie perjodycznym) II. 592—594, 595; — przesunięć (spektralne) II. 660; — Rayleigh'a II. 357; — Stokes'a I. 409; II. 564, 565; — tarcia II. 31; — wielkich liczb I. 377; — zasadnicze elektrodynamiki II. 77, 79.
*Prądów elektrycznych* akumulowanie II. 67; — działanie chemiczne II. 65—67, 90, 105, 106, 108, 111;—działanie magnetyczne II. 70, 72, 74;— działanie na inne prądy II. 74, 79;— krążenie około magnesu II. 66, 74, 88; — natężenie II. 82, 83; — nazwy wprowadzenie II. 73; — odkrycie II. 43—64; — pole magnetyczne II. 70, 74, 75; — rozgałęzienie II. 63; — źródło II. 52, 64—65.
*Prądy elektryczne* indukcyjne II. 75, 90, 96, 105, 170; — konwekcyjne II. 94, 138, 148, 152; — nasycenia II. 85, 612—614; — okresowe I. 178;— oscylacyjne, ob. Drgania elektryczne; — polaryzacyjne II. 94, 147, 150, 151, 156; — samoindukcyjne II. 91, 104, 166; — termoelektryczne II. 74, 75; — wtórne II. 67; — zamknięte II. 137, 146.
Prążki interferencyjne II. 175.
Prędkość drobin I. 359, 360, 361, 362, 363, 367, 387, 393, 423; — głosu I. 121, 122—132, 151—157; — głosu mierzona pośrednio I. 125, 151 — 157; — głosu w ciałach stałych I. 125, 152, 155, 157; — głosu w cieczach I. 125—132, 151; — w gazach I. 155;—rozchodzenia się działań elektromagnetycznych II. 138—140, 142, 175; — światła I. 111; II. 141, 142, 235—238, 244, 245, 594.
Prędkości przygotowanych zasada I. 101, 103, 104, 105, 106, 107.
Prętów drgania I. 133; — podłużne I. 152, 156.
Promieni świetlnych załamanie I. 99.
*Promienie* alfa II. 578, 579, 580, 581, 583—591, 598, 600—605, 609; — atomowe I. 419—424; — beta II. 580, 581; — elektryczne II. 176—181; — gamma II. 476—478, 580, 581; — materjalne I. 420; — *H* naturalne II. 598—599; — katodowe II. 551—558, 615—622; — kanałowe II. 567—568;—kosmiczne II. 482—489, 520—526; — podczerwone II. 489 — 499; — przejściowe (od ultrafioletu do Röntgena) II. 478—481; — Röntgena II. 452—477; 513—519, 631, 661—669; — wzrokowe II. 191—192.

Promieniotwórczość II. 573—582, 592—597, 624—635.
Proste machiny I. 4, 10, 18, 39, 103.
*Prostolinjowy* i jednostajny ruch I. 84, 88, 89; — bieg światła II. 190.
Protony II. 600, 601, 603, 604.
Próżnia I. 5, 6, 16, 45, 56, 60, 66, 67, 68, 69, 71.
Pryzmat I. 82.
Przechłodzenie cieczy I. 187 — 188, 372.
Przecięcia stożkowe I. 85.
Przeciwdziałanie I. 90.
Przegrzanie cieczy I. 189, 372.
Przekształcenie Lorentza II. 529.
*Przemiany pierwiastków* naturalne II. 573—582, 592—597; — sztuczne II. 597—605.
Przemienność energji I. 377, 380.
Przepołowienia czas II. 578.
*Przesunięcie* elektryczne II. 135—137, 145 — 148; — linij Fraunhofera (względnościowe) II. 540—542; — w ruchach Browna I. 395—397, 401, 413—417.
*Przewodnictwo* drobinowe II. 110; — elektryczne II. 83, 84, 90, 110, 111; — w niskich temperaturach II. 85.
Przewodniki i nieprzewodniki elektryczne II. 13, 27, 46, 90; — wtórne II. 170, 176.
Przewodzenie dźwięków II. 120.
Przyciągania ziemskiego siła I. 5, 94, 96.
Przygotowanej pracy zasada I. 102, 104, 105.
Przygotowanych prędkości zasada I. 101, 103, 104, 105, 106, 107.
*Przyśpieszenie* ciał I. 84; — ziemskie I. 95; II. 42.

*Rachunek* fluksyj I. 121; — różniczkowy i całkowy I. 81, 99, 102, 121.
Rad II. 573, 574, 575, 576, 580, 581, 582, 593, 595, 624, 625, 626, 627, 629, 630.
Radiometr II. 497, 498, 499, 500.
Radiometryczne siły II. 431, 432.
Radiomikrometr II. 496, 497.
Radjoaktywność, p. Promieniotwórczość.
Radjoaktywne ciała II. 573—575; 631—635.
Radjotelefonja II. 183.
Radjotelegrafja II. 183.
Radon, p. Emanacja radu.
Ramana zjawisko II. 369—374.
*Rezonans* akustyczny I. 158—159, 165, 168 — 169; — elektryczny II. 170, 176; — optyczny I. 422; II. 375, 376, 655.
*Rezonansowe* pudło I. 166; — promieniowanie II. 655.
Rezonansowy potencjał II. 655.
Rezonatory I. 159, 169, 174, 177.
Röntgena promienie II. 452—477, 513—519, 631, 661—663.
Równania pola elektromagnetycznego II. 142, 166.
Równia pochyła I. 37, 52, 53, 103.
*Równoległobok* prędkości I. 5; — sił I. 104.
*Równowaga* ciał zanurzonych I. 5; — sił I. 103.
Równoważnik mechaniczny ciepła I. 257, 264, 268, 273, 276, 278, 279, 306, 309, 330.
*Równoważność* ciepła i pracy I. 256, 259—265, 266—268, 323—324, 332; — masy i energji II. 408—410.
*Royal* Institution, p. Instytut Królewski; — Society, p. Towarzystwo Królewskie Nauk.
Rozbrojenia elektryczne, p. Wyładowania elektryczne.
*Rozchodzenie się* działań elektromagnetycznych II. 93, 113—115, 121, 138, 141—144, 166, 169, 175; — fal głosowych I. 120, 121, 122.
Rozgałęzienie prądów elektrycznych II. 63.
Rozmiary atomów, drobin, elektronów, jąder I. 367, 368, 369, 412; II. 673.
*Rozkład* prędkości drobin I. 359, 362, 363, 379; — energji I. 371, 378, 380.
*Rozpad* atomów naturalny II. 575, 592—597; — atomów sztuczny II. 597—605.
Rozpraszanie promieniowania II. 354—374.
*Rozprężanie* adjabatyczne I. 219; — powietrza I. 264—265, 268—278.
Rozprężliwość gazów I. 205.
Rozszczepienie światła białego I. 81, 82; II. 212—216.
*Rozszerzalność* azotu I. 204; — ciekłego bezwodnika siarkowego I. 207; — gazów I. 199, 200, 204; — par I. 202; — powietrza I. 198, 204; — tlenu I. 204; — wodoru I. 204.
Roztworów wodnych elektroliza II. 67, 105.
Roztwory elektrolitów II. 111.
Różniczkowy rachunek I. 81, 102.
Ruch I. 24, 25, 50, 51, 54, 87, 89; — cieczy I. 102; — falowy I. 143—150; — jednostajny prostolinjowy I. 87, 88. 89; — okresowy I. 162; —

kołowy I. 84, 95; — krzywolinjowy I. 84; — obrotowy I. 87, 89; — obrotowy ziemi I. 111; — postępowy I. 89.
Ruchliwość jonów II. 110.
*Ruchu* ilość I. 87, 90; — prawa I. 84, 89—90, 91.
*Rydberga* stała II. 653, 657; — wzór II. 658, 659.

Samogłosek brzmienie I. 160, 174; — odtwarzanie I. 177.
Samoindukcyjne prądy II. 91, 104, 166.
Samolot I. 23.
Saturna pierścienie II. 130.
Savart'a figury I. 152, 153; — koło I. 136, 138.
*Ściśliwość* gazów I. 214; — gazów, mierzona metodą Andrews'a I. 210; — powietrza I. 133; — wody I. 125, 132.
*Serja* Balmera II. 642, 643, — Bracketta II. 644; — Fowlera II. 657;— Pickeringa II. 657; — Pfunda II. 644; — Ritza - Paschena II. 644.
*Serje* widmowe II. 640—647; — promieni Röntgena II. 468.
Siarczku węgla zestalenie I. 224, 226.
Siatki dyfrakcyjne II. 444—447, 469, 470, 471, 472.
*Sił* równoległobok I. 104; — równowaga I. 103; — składanie I. 103, 104.
Siła I. 25, 84, 87, 89, 99; II. 168; — bezwładności I. 87; — ciężkości I. 88, 89, 94, 95, 96, 97, 98; — dośrodkowa I. 83, 85, 87, 88, 89, 93, 94, 96; — elektromotoryczna II. 103, 105, 136; — odśrodkowa I. 5, 84; — przyciągania ziemskiego I. 5, 94, 96; — spójności I. 89; — żywa, p. Energja kinetyczna.
*Siły* drobinowe I. 358—389; — elektryczne II. 9, 12, 13, 30, 33, 35, 39, 44; — magnetyczne I. 87; II. 11, 40.
Siły żywej zachowanie I. 252, 299, 301, 302, 305, 343.
*Skala termometryczna* Amontonsa I. 197; — bezwzględna I. 205, 318, 338, 356; — Celsjusza I. 192; — Fahrenheita I. 187; — Newtona I. 193; — Réaumura I. 194; — termometru florenckiego I. 184.
Składanie sił I. 103, 104.
Skraplania gazów metody I. 219, 221; II. 88.
*Skraplanie* amoniaku I. 206; — argonu I. 228; — azotu I. 221, 226; — bezwodnika siarkawego I. 206; — bezwodnika węglowego I. 209; — chloru I. 209; — gazów I. 206—229, 373; — helu I. 228; — kryptonu I. 228; — ksenonu I. 228; — neonu I. 228; — tlenku węgla I. 221; — tlenu I. 221, 224—226; — wodoru I. 221, 227.
Skręcanie płaszczyzny polaryzacji II. 243; — magnetyczne II. 92, 322.
Skręceń waga I. 108; II. 33, 38, 42.
Skrócenie Fitz Geralda (Lorentza) II 400—401.
Słoneczny zegar I. 4, 81.
Soczewki I. 82; II. 199.
Sodu pierwsze otrzymanie II. 67.
Solenoid II. 77, 80.
Spadanie ciał I. 6, 25, 42, 43, 45, 85, 96.
Spadochron I. 27.
Spat islandzki II. 274—275.
*Spektroskopja* podczerwieni II. 489—499; — promieni Röntgena II. 459—472, 513—519; — ultrafioletu dalekiego II. 449—452; — widzialnej części widma i ultrafioletu bliskiego II. 443—448, 505—512.
Spójności siła I. 89.
*Spółczynnik* rozszerzalności ciekłego załamanie światła I. 375; II. 144, 145. bezwodnika siarkawego I. 207—208; — rozszerzalności gazów I 198—204; — unoszenia II. 148, 151, 395—396; mania światła I. 375; II. 144, 145.
Śruba powietrzna I. 27.
*Stała* dielektryczna I. 375; II. 91, 113, 116—122, 143, 144, 145—148; — Faraday'a I. 418;—Plancka II. 335, 337, 351, 380, 381, 673; — Rydberga II. 653, 657.
Stałe punkty termometru I. 186, 187, 190—191.
*Stany* odpowiednie I. 370; — makroskopowe i mikroskopowe I. 399—400, 401, 403; — skupienia (w świetle teorji kinetycznej) I. 358—360 369, 370.
Starka zjawisko II. 668.
Statyka I. 84, 102, 103.
Statystyczne metody w mechanice I. 364, 377, 399, 404.
Stokes'a prawo I. 409; II. 564, 565.
*Stos* termoelektryczny II. 495, 496; — Volty II. 51, 60, 67.
*Stosunek* dwóch rodzajów ciepła właściwego gazów I. 124, 151; — $\frac{e}{m}$ cząstek promieni alfa II. 579; — $\frac{e}{m}$ cząstek promieni katodowych II. 553—558; — jednostek elektrycznych II. 137—142.
Stosunki liczbowe tonów I. 120.

Stożkowe przecięcia I. 85.
Stroiki I. 172.
Strumienie w cieczy I. 385.
Struktura widm II. 639—647.
*Strun* drgania I. 102, 120, 133; — dźwięk I. 143; — rezonans I. 158.
Świata budowa I. 99.
*Światła* aberracja II. 393—394; — absorbcja II. 655—656; — ciśnienie II. 42, 409, 429—437; — dyfrakcja II. 227, 228, 229, 240, 295, 297, 298, 299, 301—316; — interferencja II. 240, 290—295; — polaryzacja II. 241—244, 285—286, 316—318; — prędkość II. 141, 142, 235—238, 244, 245· — rozszczepienie I. 81, 82; II. 212—216; — teorja elektromagnetyczna II. 131, 140—145, 245—247, 319—332; — teorja falowa II. 141, 227, 228, 229, 238, 239, 241, 243, 244, 245, 254, 259, 267, 268, 272, 281, 282, 287, 289, 292, 297, 298, 299, 302, 303, 320, 335, 350; — załamanie I. 99; II. 192, 193, 196, 197, 198; — załamanie podwójne II. 274—286.
Syrena I. 134, 139, 140; — magnetyczna I. 141.
*System* geocentryczny I. 21; — heliocentryczny I. 6; — kopernikański I. 10, 43; — metryczny I. 99, 102.
Szereg Volty II. 51, 56, 62.
Szmery I. 160, 171.
Sztuczne przemiany pierwiastków II. 597—605.
Szybkość p. Prędkość.

Tablica genealogiczna pierwiastków promieniotwórczych II. 582.
Tarcie II. 31; — wewnętrzne gazów I. 365.
Telegraf elektromagnetyczny I. 148; II. 77; — iskrowy II. 131.
Teleskopy I. 43, 82; II. 200, 201.
Telewizja II. 183.
Temperatura krytyczna I. 208, 215, 219, 371, 373, 390; — gazów trwałych I. 226; — gazów szlachetnych I. 228; — w świetle teorji kinetycznej I. 356, 367.
Tensory II. 533, 537.
Teoretyczna fizyka I. 8, 84.
*Teorja* dezintegracji II. 577; — cieplika I. 235, 306; — dźwigni I. 102; — elektromagnetyczna światła II. 131, 132, 140—145, 245—247, 319—332; — elektronowa II. 247; — emisyjna (korpuskularna) światła I. 82, 85; II. 230, 231, 239—240, 243, 301—305; — falowa światła I. 82; II. 227, 228, 229, 238, 239, 241, 243, 244, 245, 254, 259, 267, 268, 272, 281, 282, 287, 289, 292, 297, 298, 299, 302, 303, 320, 335, 350; — Faraday'a - Maxwella pól elektromagnetycznych II. 93, 112, 115, 129—147, 167, 169, 175, 182; — funkcyj I. 102; — grawitacji II. 527—538; — kinetyczna gazów I. 353, 354—369, 370, 377, 386, 420; II. 130; — mechaniczna (kinetyczna) ciepła I. 236, 257, 278, 284, 306, 323, 353, 354, 377; — mgławic I. 99; — prawdopodobieństwa I. 99; — roztworów I. 385; — względności ogólna II. 527—546; — względności szczególna II. 250—254, 398—410, 423—428.
*Teorje* atomistyczne I. 5, 376, 384, 393; — dielektryków II. 146—148, 151, 156, 167; — elektrolizy II. 108—112; — elektryczności II. 3, 9, 16, 24—25, 29—30, 31—32, 93, 112, 115, 129—144; — górotwórcze I. 385; — magnetyzmu II. 4, 9, 31—32, 81, 101, 126; — ogniw galwanicznych II. 64, 65, 91.
*Teorje fizyczne* (ich cechy) *według* Carnot'a I. 246;—Duhema I. 346;—Helmholtza I. 294—296; — Macha I. 343; — Ostwalda I. 345; — Rankine'a I. 342; — Smoluchowskiego I. 385.
Termodynamiczny punkt widzenia w fizyce I. 375, 384.
*Termodynamiki* zasady I. 244—349, 375; — zasada druga I. 244—252, 320—329, 332, 333, 334, 339, 340, 345, 375, 376—381, 384, 398—404; — zasada trzecia I. 341.
Termoelektryczne zjawisko II. 74, 75.
Termoelektryczny stos II. 495, 496.
*Termometr* Amontons'a I. 197; — bezwzględny I. 205, 318—319, 338; — Celsjusza I. 186, 189—192; — Fahrenheita I. 186; — florencki I. 184; Galileusza I. 183; — gazowy I. 42, 196; — Newtona I. 193; — normalny I. 205; — oporowy I. 205, 227; — Réaumura I. 193—195; — różnicowy I. 184; — Sturma I. 184.
Termometru punkty stałe I. 186, 187.
Termometrja I. 183—205.
Termoskop Filona I. 183.
Terrella Gilberta II. 8.
Thomsona i Joule'a zjawisko I. 227, 228, 265.
Tlenku węgla skroplenie I. 221; — temperatura krytyczna I. 226; — zestalenie I. 221.
Tlenu skroplenie I. 221, 224—226, — spółczynnik rozszerzalności I. 204; — temperatura krytyczna I.

226; — temperatura krzepnięcia I. 229.
Tłumne zjawiska w fizyce I. 381.
Tonów stosunki liczbowe I. 120.
*Tony* charakterystyczne samogłosek I. 175; — cząstkowe I. 163, 164; — harmoniczne wyższe I. 159, 168—170, 174—180; — proste I. 140, 164, 171; — sympatyczne I. 159; — własne I. 166.
Towarzystwo Królewskie Nauk II. 13, 21.
*Twierdzenie* Carnota I. 244—250, 251, 312—313, 327—329, 332—334, 337; — Fouriera I. 165; — Nernsta I. 341.

Uderzenie zwrotne elektryczności II. 53.
Uginanie się światła p. Dyfrakcja.
Układ pierwiastków perjodyczny II. 464, 465, 466, 467, 515, 518, 519, 587, 590, 591, 593, 594, 595.
Układy jednostek elektrycznych i magnetycznych II. 76, 137.
*Ultrafiolet* bliski II. 448; — daleki II. 449—452.
Ultramikroskop I. 390.
Undulacyjna mechanika II. 667.
Uspakajanie fal I. 143.

*Volty* ogniwo II. 61; — stos II. 51, 60, 67; — szereg II. 51, 56, 62.

v. d. Waalsa wzór I. 368—371.
*Waga* hydrostatyczna I. 20; — magnetyczna II. 40; — skręceń I. 108; II. 31, 32, 42, 116.
Wahadła rezonans I. 158.
Wahadło I. 43, 46, 47, 48, 85, 87, 94, 95, 96, 97, 111, 112, 113, 114.
*Warunek kwantowy* mechaniczny II. 651, 664; — optyczny II. 650, 664.
Weber I. 143.
Wędrówka jonów II. 108—110.
Węzłowe linie I. 166.
Węzły fali I. 145, 155—157, 158.
Wibrator elektryczny p. Oscylator.
Widełki strojowe I. 133, 163, 175, 178.
Widm struktura II. 639—647.
*Widma* atomów o wielu elektronach II. 658—661; — pasmowe II. 640; — röntgenowskie II. 661—663.
*Widmo* helu II. 644, 645, 646, 656—658; — widzialne II. 443—448; — wodoru II. 641—644.
Widzialna część widma II. 443—448.
Wilsona metoda II. 259, 365—367, 674.
Wiry I. 85.
Włoskowatość I. 99.
Wodna pompa I. 15.
Wodny zegar I. 5, 15, 81.
*Wodoru* skroplenie I. 221, 227; — spółczynnik rozszerzalności I. 204; — temperatura krytyczna I. 227; — widmo II. 641—644.
Woltametr II. 105.
Wrażliwość nerwów na bodźce elektryczne II. 43, 52, 56, 63, 104.
*Wyładowania* ciągłe II. 161; — oscylacyjne II. 160; — przerywane II. 161.
*Wypływy* elektryczne II. 3, 9, 16, 166; — magnetyczne II. 4.
*Wysokość* dźwięków I. 120, 133, 137, 161; — dźwięków złożonych I. 140
*Względności* teorja ogólna II. 527—546; — szczególna II. 250—254, 398—410, 423—428.
*Wzór* Einsteina II. 337; — Rydberga II. 658, 659; — v. d. Waalsa I. 368—371.

*Zachowania* cieplika zasada I. 255, 322; — energji zasada I. 256—265, 301—312, 332, 335, 339, 343, 376; II. 64, 65, 91, 105; — ilości ruchu zasada I. 253, 254; — pracy zasada I. 101, 105; — siły żywej zasada I. 252—256, 299—301, 302, 305, 343.
*Załamanie* światła I. 99; II. 192, 193, 196, 197, 198; — podwójne II. 274—286; — promieni Röntgena II. 473—474.
Zanikanie drgań I. 170.
Zanurzonych ciał równowaga I. 5.
*Zasada* Archimedesa I. 8, 10; — grawitacji I. 82; — momentów I. 103; — niewyznaczalności II. 671—674 — pracy przygotowanej I. 102, 104, 105; — prędkości przygotowanych I. 101, 103, 104, 105, 106, 107; — równoważności pola grawitacyjnego i ruchu II. 527—530; — termodynamiki pierwsza I. 375; — termodynamiki druga I. 244—252, 320—329, 332, 333, 334, 339, 340, 345, 375, 376—381, 384, 398—404; — termodynamiki trzecia I. 341; — względności Galileusza II. 398; — względności ogólna II. 527—546; — względności szczególna II. 250—254, 398—410, 423—428; — zachowania cieplika I. 255, 322; — zachowania energji I. 256—265, 301—312, 332, 335, 339, 343, 376; II. 64, 65, 91, 105; — zachowania ilości ruchu I. 253, 254; — zachowania pracy I. 101, 105. — zachowania siły żywej I. 252—256, 299—301, 302, 305, 343.

*Zasady* mechaniki II. 168; — termodynamiki I. 244—349.
Zasięg promieni α II. 580.
*Zawiesin* rozkład w polu grawitacyjnem I. 398, 410; — stosowanie się do praw stanu gazowego I. 405—412.
Zboczenie (deklinacja) magnetyczne II. 5.
*Zderzenie* cząstek α II. 586; — elektronów z atomami II. 374—381.
*Zdolność* elektryczna p. Stała dielektryczna; — magnetyczna II. 93, 126, 143; — rozpoznawcza mikroskopu II. 295, 672.
Zeemana zjawisko II. 94, 668.
*Zegar* słoneczny I. 4, 81; — wodny I. 5, 15, 81.
Zero bezwzględne I. 196, 341, 356.
*Zestalenie* alkoholu I. 226; — argonu 268—278; — azotu I. 221, 229; — bezwodnika węglowego I. 209; — gazów szlachetnych I. 229; — helu I. 229; — siarczku węgla I. 224—226; — tlenu I. 229; — tlenku węgla I. 221; — wodoru I. 229.
Zgęszczenie powietrza I. 264—265, 268—278; ciepło, wywiązywane przy tem I. 312—313.
*Ziemi* gęstość I. 109; — masa I. 108; — ruch obrotowy I. 111.
Ziemskiego przyciągania siła I. 5, 94, 96.
Zjawiska akustyczne I. 85.
*Zjawisko* Comptona II. 257—259, 354, 355, 361—367, 369; — fotoelektryczne II. 167, 256—257, 340—350; — Joule'a i Thomsona I. 227—228, 265; — Kerra II. 92; — Peltier'a II. 65; — Ramana II. 361—374; — Starka II. 668; — Zeemana II. 94, 668.
Zmienność masy II. 406, 407, 408.
Zwierciadła II. 190.

## SPIS RZECZY

### **Elektryczność i magnetyzm**

Opracował W. Werner


Str.

ROZDZIAŁ I. Starożytność i średniowiecze . . . 3—5

Wiadomości o elektryczności i magnetyzmie u Greków i Rzymian . 3

Magnetyzm w średniowieczu . . . . . . . . . 4

ROZDZIAŁ II. Czasy odrodzenia . . . . . . . 6—12

William Gilbert . . . . . . . . . . . . 6

Wyjątki z dzieła *„De Magnete"* . . . . . . . . . 10—12

ROZDZIAŁ III. Następcy Gilberta . . . . . . 13—18

Nowe fakty . . . . . . . . . . . . . 13

Udoskonalenia techniczne . . . . . . . . . 14

Wyładowania elektryczne . . . . . . . . . 15

Teorje wypływów . . . . . . . . . . . 16

ROZDZIAŁ IV. Teorja fluidów elektrycznych . . 19—42

Benjamin Franklin . . . . . . . . . . 19

Z *„Doświadczeń i obserwacyj nad elektrycznością, dokonanych w Filadelfji w Ameryce"* . . . . . . . . . . 24—29

Dalszy rozwój teorji fluidów . . . . . . . . 29

Karol August Coulomb . . . . . . . . . . 30

*„Rozprawy o elektryczności i magnetyzmie"* . . . . . . 32—42

ROZDZIAŁ V. Prądy galwaniczne . . . . . . . 43—69

Odkrycie prądów galwanicznych . . . . . . . . 43

Ludwik Alojzy Galvani . . . . . . . . . . 43

*„O siłach elektryczności przy ruchach mięśniowych"* . . . 44—50

Aleksander Volta . . . . . . . . . . . 51

*„O pewnych odkryciach Galvani'ego z Bolonji wraz z doświadczeniami i uwagami"* . . . . . . . . . . . 52—58

*„O elektryczności, wzbudzanej jedynie przez zetknięcie różnych rodzajów substancyj przewodzących"* . . . . . . 59—64

Źródło napięcia elektrycznego . . . . . . . . 64

Działania chemiczne prądów galwanicznych . . . . . . 65

ROZDZIAŁ VI. Działanie magnetyczne prądów galwanicznych . . . . . . . . . . . . . 70—85
Jan Christian Oersted . . . . . . . . . . . . 70
*„Doświadczenia nad działaniem konfliktu elektrycznego na igłę magnetyczną“* . . . . . . . . . . . . . 71—74
Dalszy rozwój elektromagnetyzmu . . . . . . . . 74
Andrzej Marja Ampère . . . . . . . . . . 76
*„Wykład metodyczny zjawisk elektrodynamicznych i praw, rządzących temi zjawiskami“* . . . . . . . . . . 78—82
Prawo Ohma . . . . . . . . . . . . . . 82
Jerzy Szymon Ohm . . . . . . . . . . . . 83

ROZDZIAŁ VII. Dzieło Faraday'a . . . . . . . 86—128
Michał Faraday . . . . . . . . . . . . 86—96
*„Badania doświadczalne nad elektrycznością“* . . . . . . 96—125
*Serja I i II. Odkrycie prądów indukcyjnych* . . . . . . 96
Dalsze prace nad prądami indukcyjnemi . . . . . . . 103
*Serja VII. O określonych stosunkach przy rozkładzie elektrochemicznym* . . . . . . . . . . . . . . 106
Rozwój teorji elektrolizy . . . . . . . . . . 108
*Serja XI. O indukcji* . . . . . . . . . . . . 112
Stała dielektryczna . . . . . . . . . . . . 122
*Serja XX. O nowem działaniu magnetycznem i o stanie magnetycznym wszelkiej materji* . . . . . . . . . . 122
Własności magnetyczne ciał . . . . . . . . . . . 125
Maxwell o metodzie Ampère'a i Faraday'a . . . . . . . 127

ROZDZIAŁ VIII. Teorja pól elektromagnetycznych 129—158
James Clerk Maxwell . . . . . . . . . . . 129
Wyjątki z *„Elektryczności i Magnetyzmu“* . . . . . . 133—144
*Plan dzieła (o polaryzacji elektrycznej)* . . . . . . . 133
*Porównanie jednostek elektrostatycznych i elektromagnetycznych* 137
*Teorja elektromagnetyczna światła* . . . . . . . . 140
Dalszy rozwój teoryj polaryzacji . . . . . . . . . . 145
Prądy konwekcyjne . . . . . . . . . . . . 148
Henryk August Rowland . . . . . . . . . . 152
*„O działaniu elektromagnetycznem prądów konwekcyjnych“* . . 152—155
Wilhelm Konrad Röntgen. *„O sile elektrodynamicznej, wywołanej przez ruch dielektryku, umieszczonego w polu jednostajnem“* . 156—158

ROZDZIAŁ X. Drgania i fale elektromagnetyczne 159—183
Drgania elektryczne . . . . . . . . . . . . . 159
Wilhelm Feddersen . . . . . . . . . . . . . 160
*„O wyładowaniach butelek elektrycznych“* . . . . . 160—164
Fale elektromagnetyczne . . . . . . . . . 165
Henryk Rudolf Hertz . . . . . . . . . . . . 165—169
*„Badania nad rozchodzeniem się siły elektrycznej“* . . . . 169—181
Badanie i zastosowanie fal elektromagnetycznych . . . 181

Tablica chronologiczna dat urodzin i śmierci . . . . . . . 184

## Optyka

Opracował S. Ziemecki

### Dział I. Optyka geometryczna

ROZDZIAŁ I. Prostolinjowy bieg, odbicie i załamanie światła . . . . . . . . . . . 189—202
Uwagi ogólne . . . . . . . . . . . . . . 189
Prostolinjowy bieg światła. Zwierciadła . . . . . . . 190
Promienie wzrokowe . . . . . . . . . . . . 191
Załamanie światła . . . . . . . . . . . . 192
Ciemnia optyczna . . . . . . . . . . . . 193
Latarnia czarnoksięska . . . . . . . . . . . 194
Vitello . . . . . . . . . . . . . . 195
Kepler . . . . . . . . . . . . . . 196
Prawo załamania światła . . . . . . . . . . 197
Soczewki . . . . . . . . . . . . . 199
Mikroskopy i lunety . . . . . . . . . . . 199
Teleskopy katoptryczne . . . . . . . . . . . 200

### Dział II. Barwy

ROZDZIAŁ II. Ogólny zarys . . . . . . . . . 205—207
ROZDZIAŁ III. *„Sir Izaaka Newtona Optyka czyli rozprawa o światła odbiciach, załamaniach, uginaniu i barwach“* . . . . 208—232

### Dział III. Teorje światła. Eter

ROZDZIAŁ IV. Zarys ogólny . . . . . . . . . 235—259
Prędkość rozchodzenia się światła . . . . . . . . . 235
Huygensa teorja falowa światła . . . . . . . . . 238
Teorja emisyjna Newtona . . . . . . . . . 239
Interferencja światła. Tomasz Young . . . . . . . . 240
Badania Fresnela nad dyfrakcją . . . . . . . . . 240
Polaryzacja światła . . . . . . . . . . . . 241
Poprzeczność fal świetlnych . . . . . . . . . . 244
Ostateczne zwycięstwo teorji falowej . . . . . . . 244
Eter. Teorja elektromagnetyczna światła . . . . . . . 245
Teorja względności . . . . . . . . . . . . 250
Teorja względności a eter . . . . . . . . . . 252
Kwanty światła . . . . . . . . . . . . . 254
Dualizm w optyce . . . . . . . . . . . . 259
ROZDZIAŁ V. Chrystjan Huygens (życiorys) . . 260—265
*„Traktat o świetle“* . . . . . . . . . . . . 265
ROZDZIA VI. Tomasz Young (życiorys) . . . . . . 287—288
*„O teorji światła i barw“* . . . . . . . . . . 288
*„Doświadczenia i obliczenia, dotyczące optyki fizycznej“* . . . 293
ROZDZIAŁ VII. Augustyn Fresnel (życiorys) . . . . 296—301

*„Rozprawa o dyfrakcji światła"* . . . . . . . . . 301
*„Obliczenie natężenia światła w środku cienia ekranu i okrągłego otworu oświetlonych przez punkt promieniujący"* . . . . 310
*„Rozprawa o wzajemnem oddziaływaniu promieni światła spolaryzowanego przez P. P. Arago i Fresnela"* . . . . . . 316

ROZDZIAŁ VIII. Henryk Hertz . . . . . . . . 319
*„O związku pomiędzy światłem a elektrycznością"* . . . . 319—332

**Dział IV. Kwanty i fale materji.**

ROZDZIAŁ IX. Podstawy doświadczalne teorji kwantów. 335—381
Fale a kwanty . . . . . . . . . . . . . . 335—338
Zjawisko fotoelekryczne . . . . . . . . . . . 339—350
Kres widma ciągłego promieni *X* . . . . . . . . . 350—354
Zjawisko Comptona i zjawisko Ramana . . . . . . 354—374
Emisja przy zderzeniach atomów z elektronami . . . . . 374—380
Zestawienie wartości stałej Plancka . . . . . . . 381

ROZDZIAŁ X. Fale materji. . . . . . . . . . . 382—390
Badania L. de Broglie'a . . . . . . . . . . . 382—383
Odkrycie Davisson'a i Germer'a i prace, dotyczące własności fal de Broglie'a . . . . . . . . . . . . 383—387
*„O uginaniu się elektronów na krysztale niklu"* przez C. Davisson'a i L. Germer'a . . . . . . . . . . 387—390

**Dział V. Optyka ciał w ruchu będących. Ciśnienie światła. Teorja względności.**

ROZDZIAŁ XI. O wpływie ruchu ciał na zjawiska optyczne . . . . . . . . . . . . . 393—397
Aberracja światła . . . . . . . . . . . . . 393—394
Unoszenie fal świetlnych w doświadczeniu Fizeau . . . 394—397

ROZDZIAŁ XII. Teorja względności . . . . . . . . 398—410
Zasada Galileusza w mechanice . . . . . . . . . 398—399
Uogólnienie zasady Galileusza, dane przez Einsteina i Poincaré'go . . . . . . . . . . . . . . . 399
Założenia i wnioski szczególnej zasady względności . . . . 400—410

ROZDZIAŁ XIII. *„O ruchu względnym ziemi i eteru światłonośnego"* przez A. A. Michelson'a i E. W. Morley'a . . . 411—419
Powtórzenie doświadczenia Michelson'a w nowszych czasach . 419—420

ROZDZIAŁ XIV. Albert Einstein (życiorys) . . . . . . 421—422
*„W sprawie elektrodynamiki ciał poruszających się"* przez A. Einsteina . . . . . . . . . . . . . . 423—428

ROZDZIAŁ XV. *„Badania nad siłami ciśnienia światła"* przez Piotra Lebiediewa . . . . . . . . . . . . 429—435
*„O odkrytym przez P. Bartoli'ego stosunku pomiędzy ciepłem promienistem a drugą zasadą"* przez Ludwika Boltzmanna . 435—437

### Dział VI. Widmo fal elektromagnetycznych.

ROZDZIAŁ XVI. Przegląd głównych części widma.
Uwagi ogólne . . . . . . . . . . . . . . 441—442
Część widma widzialna i ultrafiolet bliski . . . . . . . 443—448
Ultrafiolet daleki . . . . . . . . . . . . . 449—452
Promienie Röntgena i gamma:
A) interferencja i dyfrakcja prom. *X* . . . . . . . 453—459
B) spektroskopja promieni Röntgena . . . . . . . 459—472
C) załamanie promieni Röntgena . . . . . . . . 473—475
D) polaryzacja prom. *X* . . . . . . . . . . 475—476
E) otrzymywanie promieni Röntgena . . . . . . . 476—478
Dziedzina przejściowa pomiędzy ultrafioletem a prom. *X* . . . 478—482
Promienie kosmiczne . . . . . . . . . . . 482—489
Podczerwona część widma . . . . . . . . . . 489—499
Najkrótsze fale Hertza . . . . . . . . . . . 499—503
ROZDZIAŁ XVII. Gustaw Kirchhoff i Robert Bunsen (życiorys) . . . . . . . . . . . . . 504—505
*„Analiza chemiczna na drodze spostrzeżeń widmowych"* przez G. Kirchhoffa i R. Bunsena . . . . . . . 505—512
ROZDZIAŁ XVIII. *„Krótkofalowe widma pierwiastków"* przez H. G. J. Moseleya . . . . . . . . . . . . . 513—519
ROZDZIAŁ XIX. *„O spostrzeżeniach, dotyczących przenikliwego promieniowania, dokonanych w siedmiu podróżach swobodnym balonem"* przez V. F. Hessa . . . . . . . . . . 520—525
W. Kolhörster. *„Pomiary promieniowania przenikliwego do wysokości 9360 m."* . . . . . . . . . . . . . 525—526
UZUPEŁNIENIE. *Ogólna teorja względności i teorja grawitacji*—opracował Dr. G. Doborzyński . . . . . . . . . 527—546

## Budowa materji

Opracował S. Ziemecki

### Dział I. Części składowe atomów

ROZDZIAŁ I. Elektrony . . . . . . . . . 551—558
ROZDZIAŁ II. Ładunek elementarny . . . . . . 559—566
ROZDZIAŁ III. Promienie elektryczności dodatniej. Izotopy . . . . . . . . . . . . . 567—572
ROZDŹIAŁ IV. Promieniotwórczość . . . . . . 573—582
A. Ciała promieniotwórcze . . . . . . . . . . 573—578
B. Promieniowanie ciał radjoaktywnych . . . . . . 578—582
ROZDZIAŁ V. Jądro atomu . . . . . . . . . 583—591
ROZDZIAŁ VI. Rozpad atomów naturalny i sztuczny 592—605
A. Przemiany radjoaktywne . . . . . . . . . 592—597
B. Przemiany pierwiastków sztucznie wywołane . . . . 597—605

ROZDZIAŁ VII. J. J. Thomson i E. Rutherford (życiorysy) 606—609
*„O przechodzeniu elektryczności przez gazy, wystawione na działanie promieni Röntgena"* . . . . . . . . . 609—614
ROZDZIA VIII. *„Promienie katodowe"* przez J. J. Thomsona . 615—622
ROZDZIA IX. Marja Skłodowska-Curie (życiorys) 623—625
Marja ze Skłodowskich Curie. *„Przedmowa do dzieł Piotra Curie"* (życiorys Piotra Curie) . . . . . . . . . 625—630
*„Badanie ciał radjoaktywnych"* przez Marję Skłodowską-Curie . . . . . . . . . . . . . 631—635

**Dział II. Promieniowanie i mechanika atomu.**

ROZDZIAŁ X. Struktura widm (serje widmowe) . . . 639—647
ROZDZIAŁ XI. Niels Bohr (życiorys) . . . . . . 648—649
Bohra model atomu . . . . . . . . . 649—664
Zastosowanie modelu Bohra do wyjaśnienia:
A) widma wodoru . . . . . . . . . . . 649—656
B) widma helu . . . . . . . . . . . . 656—658
C) widma atomów o wielu elektronach . . . . . . 658—661
D) widm Röntgenowskich . . . . . . . . 661—664
ROZDZIAŁ XII. Braki modelu Bohra . . . . . . 665—666
Nowe kierunki w mechanice atomu . . . . . 666—674

---

Piśmiennictwo, dotyczące fizyki nowoczesnej . . . . . 674—675
Ważniejsze daty, dotyczące rozwoju optyki . . . . . . 676
Ważniejsze daty, dotyczące nauki o budowie materji . . . . 677
Skorowidz osób . . . . . . . . . . . . . 678—685
Skorowidz rzeczy . . . . . . . . . . . . . 686—698
Spis rzeczy . . . . . . . . . . . . . . 699—704

---

## Spis portretów

### TOM I.

*Obok str.*

Mikołaj Kopernik . . . . . . . 32
Galileusz . . . . . . . . 48
Otto von Guericke . . . . . . 72
Isaac Newton . . . . . . . 96
Zygmunt Wróblewski . . . . . . 224
Sadi Carnot . . . . . . . . 256
James Prescott Joule . . . . . . 272
Hermann von Helmholtz . . . . . . 288
William Thomson (Lord Kelvin) . . . . 320
Marjan Smoluchwski . . . . . . 384

### TOM II.

Benjamin Franklin . . . . . . 24
Aleksander Volta . . . . . . . 72
André Marie Ampère . . . . . . 80
Michał Faraday . . . . . . . 112
James Clerk Maxwell . . . . . . 144
Henryk Hertz . . . . . . . . 176
Chrystjan Huygens . . . . . . . 264
Augustyn Fresnel . . . . . . . 296
Albert Einstein . . . . . . . 424
Gustaw Kirchhoff . . . . . . . 504
J. J. Thomson i sir Ernest Rutherford . . . 608
Marja Curie-Skłodowska . . . . . . 624
Piotr Curie . . . . . . . . 624
Niels Bohr . . . . . . . . 648

## E R R A T A:

| *Str.* | *wiersz* | *wydrukowano:* | *powinno być:* |
|---|---|---|---|
| 29 | 5 od góry | do ziemi | w ziemię |
| 31 | 17 od dołu | prawa Coulomb'a | prawa odwrotnych kwadratów |
| 41 | 5 „ | 11 | 12 |
| 45 | 2 od góry | skalpeta | skalpela |
| 50 | 17 od dołu | tworzenie | tworzeniu |
| 79 | 4 „ | *A* do *B* | od *A* do *B* |
| 79 | 1 „ | *MSC* | *MN* |
| 84 | 3 od góry | $\frac{x}{l}$ | $X\frac{x}{l}$ |
| 89 | 7 „ | powiedziałem | powiedział |
| 103 | 1 „ | indukowanemi | indukowanymi |
| 107 | 21 „ | cynowego | cynawego |
| 133 | 1 od dołu | Wyd. 1-e | Wyd. 1-e w r. 1873. |
| 140 | 20 od góry | przemiennych | zmiennych |
| 150 | 15 „ | zapomcoą | zapomocą |
| 167 | 4 „ | od | do |
| 205 | 7 „ | ogólnikowe | ogólnikowo |
| 221 | 15 „ | obficej | obficiej |
| 284 | 1 od dołu | naturalnie | naturalne |
| 300 | 19 od góry | str. — | str. 318 |
| 304 | 15 „ | kątam | kątami |
| 349 | 1 od dołu | potwerdzający | potwierdzający |
| 355 | 2 „ | płytki | pyłki |
| 376 | 2 „ | Qerhandlungen | Abhandlungen |
| 466 | | Rys. 141. Tablica układu perjodycznego. | Rys. 141. Zdjęcia widmowe Moseleya. |
| 554 | 14 od góry | Bestemeyer | Bestelmeyer |
| 564 | 2 od dołu | a dolnej | a dalej |
| 574 | Ostatni wiersz tej stronicy (Promienie te...) powinien być pierwszym. | | |
| 601 | 4 od dołu | Rutheford | Rutherford |
| 640 | Na rysunku 201 brak cyfr 3884, 3872, 3862, 3855, które należy umieścić koło krawędzi pasm, idąc od ręki lewej ku prawej. | | |

WYDAWNICTWO REDAKCJI „MATHESIS POLSKIEJ"

O. D. CHWOLSON

PROF. UNIWERSYT. W LENINGRADZIE

# FIZYKA WSPÓŁCZESNA

## WYKŁAD PRZYSTĘPNY NOWYCH POJĘĆ FIZYKI WSPÓŁCZESNEJ

Według 3-go uzupełnionego wydania
oryginału (1931) tłumaczył
ST. WARHAFTMAN

*Dzieła prof. Chwolsona mają sławę europejską. Odznaczają się rzadko spotykanemi zaletami jasnego i przekonywującego wykładu. W powyższem dziele prof. Chwolson wprowadza czytelnika w obręb pojęć fizyki współczesnej bez użycia skomplikowanego aparatu matematycznego.*

TREŚĆ

Wstęp — Materja, elektryczność, energja, masa.
Energja promienista.
Budowa atomu i powstawanie widm.
Promienie Röntgena.
Pobudzanie i jonizacja gazów przez zderzenia elektronów.
Teorja kwantowa światła i zjawiska Comptona i Ramana.
Fotoelektryczność.
Fotoluminescencja.
Teorja Bohra a chemja.
Pierwiastki promieniotwórcze. Izotopy.
Promienie gamma i promienie Hessa.
Hel ciekły i zestalony. Nadprzewodniki.
Różne zjawiska.
Teorja elektronowa metali.
Nowa mikromechanika (Teorje de Broglie'a, Schrödingera i Heisenberga).

*1931. Cena Zł. 22.50. W opr. Zł. 25.—*